

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Інститут прикладного системного аналізу
Кафедра математичних методів системного аналізу**

«На правах рукопису»
УДК 656.021.8

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ О.Л. Тимошук
«__» _____ 20__ р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 124 Системний аналіз
на тему: «Методи і алгоритми аналізу та розподілу транспортних потоків у
місті»**

Виконав:
студент II курсу, групи КА-62м
Атаманчук Олексій Степанович

Керівник:
д.т.н., проф.
Бідюк П.І.

Рецензент:
д.т.н., проф.
Архипов О.Е.

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____

Київ
2018

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 97 с., 18 рис., 19 табл., 2 додатка, 16 джерел.

Об'єкт дослідження – транспортні потоки у місті та їх характеристики.

Мета роботи – дослідження проблеми неспроможності дорожньої мережі справлятися з потоками автомобілів і, як наслідок, виникнення заторів. Було проведено огляд існуючих моделей, що використовуються для опису та оцінки характеристик транспортних мереж, підібрані оптимальні.

Метод дослідження – статистичний аналіз параметрів руху транспортного потоку та його оцінка.

Проблема являється комплексною і не обмежується лише тематикою переміщення автомобілів вулицями в масштабі міста та окремо між собою в масштабі смуг руху на дорозі. Тому було звернено увагу на аспекти, що можуть допомогти поліпшити ситуацію, або ж які мають прямий негативний вплив на стан завантаження доріг міста. Так чи інакше, ключем до розв'язання поставлених задач може бути лише системне рішення, яке може продуктивно впливати на усі необхідні сфери взаємодії елементів моделей, які будуть побудовані.

Робота побудована виключно на основі відкритих даних, які було отримано після обробки матеріалів онлайн ресурсів та написання відповідних програм очистки та перетворення даних за допомогою мови програмування Python, даних, отриманих натуральним шляхом, тобто замірів швидкостей автомобілей, їх кількості, щільності та таке інше. Використовувались онлайн ресурси «Google maps», «OpenStreetMap», «CartoDB», основна аналітика даних та побудова графіків були реалізовані у середовищі Matlab та на мові програмування Python.

ТРАНСПОРТНИЙ ПОТІК, СЛІДУВАННЯ ЗА ЛІДЕРОМ, ІНДИКАТОР ЕЛАСТИЧНОСТІ, ТРАНСПОРТНА МЕРЕЖА, ФРІВЕЙ, ГІДРОДИНАМІКА РУХУ, ДВОРІДИННА МОДЕЛЬ

ABSTRACT

The theme title is “Modeling behavior of traffic flows in a city”.

Masterr’s thesis: 97 p., 18 fig., 19 tabl., 2 appendices and 16 sources.

Object of research - traffic flows in the city and their characteristics.

The main goal – investigate the problem of failure of the road network to cope with the traffic flow and as a result, the occurrence of traffic jams. There is a review of existing models used to describe and evaluate performance transport networks, selected the best.

Method of investigation - statistical analysis of traffic flow parameters and its estimation.

The problem is complex and not limited to the subject of traffic flows moving across the city and separately with each other in the scale of lanes on the road. It was therefore drawn attention to aspects that could help improve the situation, or that have a direct negative impact on the city roads downloading. Either way, the key to solving tasks can only be a system solution that can efficiently affect all the necessary elements spheres of interaction models that will be built.

The work is based solely on publicly available data, which was obtained after the processing of materials online writing resources and appropriate programs and treatment data conversion using the programming language Python, data obtained by natural means, ie measuring vehicle speed, quantity, density and so on. Used online resources «Google maps», «OpenStreetMap», «CartoDB», principal analyst data and graph were implemented in Matlab environment and the programming language Python.

TRAFFIC FLOW, LEADER FOLLOWING, ELASTICITY INDICATOR,
TRANSPORT NETWORK, FREEWAY, HYDRODYNAMIC MOVEMENT, TWO-
FLUID MODEL

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 ТРАНСПОРТНІ ПОТОКИ У СТРАТЕГІЯХ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ	10
1.1 Макроскопічні моделі транспортних потоків	10
1.2 Мікроскопічні моделі транспортних потоків.....	18
1.3 Дворідинна гідродинамічна модель та її властивості	22
Висновки до розділу	25
РОЗДІЛ 2 ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИК ВДМ МІСТА ЗА ДОПОМОГОЮ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ	26
2.1 Поділ транспортного потоку та визначення елементів досліджувальної системи	26
2.2 Гідродинамічна модель транспортного потоку в залежності від функціонального складу	32
2.3 Особливості зібраних даних та аналіз умов середовища.....	38
Висновки до розділу	45
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ НАВАНТАЖЕННЯ ТА ПРОБЛЕМ ВДМ І ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ.....	46
3.1 Характеристик поведінки транспортних потоків у години пік.....	46
3.2 Зв'язок макроскопічних характеристик потоку і проблем моделей мікроскопічного рівня	49
3.2 Порівняльний аналіз результатів макроскопічного моделювання.....	53
Висновки до розділу	55

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	57
4.1 Інформаційна карта проекту.....	57
4.2 Команда стартап-проекту.....	59
4.3 Бізнес-модель Canvas проекту.....	60
4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	61
4.5 Розроблення ринкової стратегії проекту	69
Висновки до розділу	74
ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ .	76
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	77
ДОДАТОК А ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ	79
ДОДАТОК Б ГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ.....	84

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВДМ – вулично-дорожна мережа

НР-індикатор – індикатор еластичності Германа-Пригожина

RT – загальна тривалість руху автомобіля у дорозі (running time)

ST – загальна тривалість простою автомобіля у дорозі (standing time)

TT – загальний час автомобіля у дорозі (travel time)

СП – спеціальний транспорт

ГР – громадський транспорт

ОС – особистий транспорт

ВСТУП

На сьогоднішній день у світі існує велика кількість міст, вулична система частини яких була спроектована вже багато років назад, і, тому, не витримує навантажень сьогодення. Винятком не стала і столиця України, але пострадянські часи у країнах, які входили до складу СРСР, навідміну від західноєвропейських країн та США, де з проблемами вуличних заторів боролися та вивчали їх поступово протягом десятків років, темп рівню автомобілізації зростав значно швидше, ніж темп модернізації ВДМ (вулично-дорожньої мережі).

Такий стан речей потребує комплексного аналізу проблем та системного підходу до їх вирішення. Тобто не лише розгалуджувати та модернізувати транспортну мережу, а і зменшувати її насичення автомобілями, спрямовуючи людей на громадський транспорт, оптимізувати керування системи та забезпечити її взаємодію з водіями. Для цього ж потрібно.

Для досягнення описаних цілей було вирішено розбити задачу на два етапи, на яких будуть розглядатися основні моделі, що будуть описані згодом. На першому етапі досліджуватиметься транспортний потік у макроскопічному сенсі, після чого будуть виявлені слабкі та вимагаючі допрацювання елементи ВДМ, які, в свою чергу, будуть розглядатися вже на другому етапі в мікроскопічному сенсі.

Тобто, після побудови моделі загальної картини ВДМ міста в цілому та для окремих його частин, отримана інформація буде проаналізована у вигляді отриманих недоліків організації мережі доріг і, таким чином, будуть сформовані задачі вже для наступного рівня дослідження.

Немаловажливими є такі параметри міста як щільність населення в окремих районах, рівень автомобілізації населення, стан дорожнього покриття та рівень розвитку інфраструктури громадського транспорту міста.

РОЗДІЛ 1 ТРАНСПОРТНІ ПОТОКИ У СТРАТЕГІЯХ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ

1.1 Макроскопічні моделі транспортних потоків

Регулярні транспортні затори, що викликають підвищене забруднення навколишнього середовища і великі витрати енергетичних ресурсів, зумовили необхідність швидкого розширення і будівництва дорожніх мереж у багатьох містах світу. І хоча це розширення не встигає за різким підвищенням обсягів дорожнього руху, до сих пір не знайдено оптимальної транспортної системи, а також заміна автомобільному транспорту. Однак, в існуючій ситуації, оскільки ми не маємо більш ефективних і нешкідливих для довкілля транспортних засобів, які можна порівняти за рівнем зручності з автомобілями, слід використовувати існуючі дорожні мережі більш ефективно і забезпечувати їх безпечне функціонування. Це обумовлює мету управління дорожнім рухом. У цьому розділі буде описано деякі аспекти управління дорожнім рухом в макроскопічних масштабах. Також це надасть необхідне обґрунтування необхідності моделювання як засобу систематичного дослідження стратегій управління і запропонуємо критерії оцінки ефекту управління.

До сучасних дорожніх мереж висуваються вимоги згладжування транспортних потоків і забезпечення безпеки руху транспортних засобів і пішоходів. Але так як швидке зростання транспортного попиту призвело до недопустимого підвищення обсягів руху і значних транспортних заторів, початкові функції дорожніх мереж поступово втратилися, в той час як їх негативні впливи на життя людини, в числі яких підвищення числа дорожньо-транспортних пригод і забруднення навколишнього середовища, стали все більш помітними. Радикальне вирішення цих проблем може бути знайдено або шляхом нескінченного розширення дорожньої мережі, або шляхом створення нових транспортних систем, які зможуть замінити автомобілі. Але перший варіант вимагає надмірно великих капітальних вкладень, в той час як для вирішення завдання зі створення нових транспортних систем в даний час не існує

продуктивного підходу. З цих причин очевидні труднощі в реалізації згаданих варіантів вирішення транспортної проблеми в найближчому майбутньому. Оскільки значні за широтою охоплення регулюючі впливи на рух автомобілів, неминуче надають уповільнюючий вплив на соціальну та економічну діяльність, єдиною прийнятною альтернативою сьогодні є дії, спрямовані на більш ефективне використання існуючої дорожньої мережі для руху транспортних потоків. Сукупність цих складних дій називається управлінням дорожнім рухом. Великі зусилля вже були зроблені в різних областях управління дорожнім рухом, зокрема хороші результати дало застосування систем управління рухом за допомогою адаптивної світлофорної сигналізації. Управління окремими перехрестями з адаптацією до змін обсягів руху на підходах до них було реалізовано в 30-х роках минулого століття і знайшло особливо широке застосування в Європі. Однак, суттєвий ефект не може бути отриманий шляхом роздільного управління ізольованими перехрестями в районі, в якому щільність розташування світлофорів настільки велика, що автомобіль проїжджає через два сусідніх світлофора приблизно за 10 с. Звідси випливає вимога до колективного, системного управління сигналами світлофорів. Значний ефект був отриманий вже за рахунок управління сигналами світлофорів на наступних один за одним перехрестях однієї магістральної вулиці. Однак, так як дорожній рух в містах носить двомірний характер, і ця властивість має тенденцію до розширення і на приміські райони, з'явилася необхідність в централізованому управлінні сукупністю перехресть, розподілених по великих двовимірним районам. З цією метою потрібно впроваджувати використання розвиненої техніки збору і передачі значних обсягів інформації та оброблення його з високою швидкістю, щоб керувати великою кількістю сигналів світлофорів, ґрунтуючись на результатах цієї обробки. З'явилися системи управління дорожнім рухом у великих міських районах з типовими конфігураціями керуючих обчислювальних систем, що працюють в реальному масштабі часу. Такі системи переростають в багатофункціональні системи управління, що включають, наприклад, системи відображення інформації, що забезпечують можливість оператору втручатися в автоматичне

управління, або системи інформаційного обслуговування, які забезпечують водіїв інформацією про виникаючі в дорожньому русі ситуації. З іншого боку, стратегія управління дорожнім рухом не досягнула до теперішнього часу досконалості, хоча безперервно з'являються все нові великі системи управління. Це пояснюється тим, що дуже важко мати справу з різними характеристиками транспортного потоку через різноманітність автомобілей, які вільно керуються водіями, і складність дорожньої мережі, яка збільшувалась природним чином протягом багатьох років [1].

Під час обговорення питань управління дорожнім рухом ми перш за все повинні встановити значення і специфіку предмета дослідження. Ми повинні також підготувати відповідні моделі транспортного потоку і критерії якості управління для того, щоб отримати можливість систематичного дослідження стратегій управління. Хоча транспортний потік являє собою дискретне і ймовірнісне явище, він може бути розглянутий і як такий, що має безперервну і детерміновану природу, коли безліч автомобілів рухається в групі [1].

При розгляді потоку з першої точки зору ми використовуємо мікроскопічні моделі, у другому випадку - макроскопічні. Оскільки метою роботи є розгляд управління дорожнім рухом в складних дорожніх мережах, в більшій її частині використовуються макроскопічні моделі. Надалі буде наводитися теоретичне обґрунтування цих двох моделей і закладається основа для матеріалу наступних глав.

Для реалізації різних стратегій управління дорожнім рухом необхідно в кожен момент часу збирати точну інформацію про рух транспортних потоків. Оскільки транспортний потік є істотно дискретним і ймовірнісним, слід звернути серйозну увагу на проблему збору інформації про параметри руху, а також на питання їх оцінки та прогнозування з метою знаходження надійних параметрів, ці проблеми обговорюються як додаткова інформація в роботі. Матеріал систематизовано шляхом використання певної математичної моделі. Однак, оскільки математичні моделі в випадках, коли вони використовуються для дослідження складних і крупно-масштабних систем, є істотно наближеними,

підтвердження вихідної теорії та можливих її покращень має виконуватися за допомогою нематематичних моделей, таких, як імітаційне моделювання за допомогою ЕОМ. Описуються техніка макро- і мікроскопічного імітаційного моделювання [2].

До надійності систем управління дорожнім рухом в зв'язку з величезним соціальним і економічним значенням такого управління пред'являються виключно високі вимоги. Крім того, управління дорожнім рухом зачіпає драматичним чином питання надбання і життя людей; найбільш складні дорожньо-транспортні пригоди отримують майже такий же відгук у засобах масової інформації, як і катастрофи на залізницях і авіакатастрофи. Тому політичні вимоги диктують, щоб сумарний час відмови в роботі пристроїв обробки інформації не становив більш ніж, скажімо, кілька годин за 10 років. Це означає, що потрібне використання часу процесора в корисних цілях більш ніж на 99,99%, для чого необхідні складні надлишкові обчислювальні системи. Так як транспортні засоби розподілені по великим районам, для розрахунку управління їх рухом як функції від сукупності вимірюваних швидкостей потрібні високопродуктивні системи обробки інформації в реальному масштабі часу, що володіють запасами по обчислювальній потужності. Необхідна також «глобальна» сумісність, що дозволяє здійснювати управління на всій території великого району без створення нерозв'язних протиріч [2].

Існує також ряд додаткових проблем, викликаних унікальним характером дорожнього руху. Першою з цих проблем є складність дорожньої мережі, що утворилася в процесі історичного розвитку набагато раніше появи щільних високошвидкісних транспортних потоків. Друга проблема викликана індивідуальним характером автомобільних перевезень. Кожен автомобіль, як правило, керується без заздалегідь заданого маршруту і графіка руху. Третя проблема виникає через відносну дешевизну автомобіля, який набагато легше купити, ніж літак, пароплав або залізничний потяг. Тому складна і дорога система управління не може бути встановлена на автомобілі, а повинна бути приналежністю дороги і управляти рухом автомобілів, що знаходяться на ній в

даний час.

Ці особливості дорожнього руху не дозволяють використовувати на мережі доріг надскладні керуючі системи. Наприклад, майже неможливо виконати оптимальний розподіл транспортних потоків по дорожньої мережі не стільки через її складності, як через індивідуального характеру рішень, прийнятих кожним водієм. Крім того, хоча є технічна можливість здійснення автоматичного водіння автомобіля, що обіцяє забезпечення нечуваного досі рівня безпеки руху та ефективності перевізного процесу, впровадження такого способу водіння важко очікувати в найближчому, майбутньому. Причиною є висока вартість електронного обладнання, що встановлюється на автомобілі, істотно перевершує вартість самого автомобіля і виходить за межі економічних можливостей їх власників. Іншими словами, при управлінні рухом транспортних потоків ми зобов'язані виходити з того, що інформація про справжні наміри водіїв відсутній, що установка на автомобілях нових електронних технічних коштів не передбачається і що всі керуючі пристрої встановлюються тільки на дорожньої мережі [1].

Сказане вірно почасти й для інших транспортних систем, але потрібно відзначити, що високий ступінь насичення мережі доріг автомобілями та соціально-економічна роль дорожнього руху роблять тут проблеми управління особливо серйозними. Так, розширення можливостей дорожньої мережі запізнюється по відношенню до зростання транспортного попиту і призводить до підвищення щільності потоків. Транспортні затори починають носити хронічний характер і створюють можливість появи некерованого хаосу і серйозних катастроф. Звідси ясно, що необхідна як високоефективна система управління в нормальних ситуаціях, так і політика, що дозволяє уникати і усувати незвичайні хаотичні ситуації. З іншого боку, стиль і рівень життя змінюються все швидше у всьому світі, що призводить серед інших сторін життя і до змін в міських транспортних системах, конфігурації міст, розташування місць праці і відпочинку. При цих умовах теорія управління дорожнім рухом повинна забезпечувати не тільки знаходження контрзаходів за рішенням сьогоденних

проблем, але і можливість розробки основних напрямків розвитку міського транспортного господарства в майбутньому.

Впровадження системи управління дорожнім рухом пов'язано зі створенням технічних засобів збору інформації про параметри транспортних потоків в безлічі точок дорожньої мережі, передачею зібраної інформації в центр управління, обробкою зібраної інформації з метою вибору керуючих впливів засобів для передачі цих впливів до світлофорів з метою перемикання їх сигналів і інформування водіїв про доступність альтернативних маршрутів або наявності залежних від часу доби регулюючих впливів, і, нарешті, створенням засобів зв'язку з оперативним персоналом служби управління рухом, що знаходяться на мережі доріг.

Виконання всіх цих функцій детектування, передачі і обробки інформації вручну, звичайно, неможливо, оскільки дорожні мережі надмірно великі і складні. До системи управління пред'являються вимоги швидкої реакції і високої надійності, внаслідок чого з'явилася необхідність її створення на повністю електронній основі. Іншими словами, управління дорожнім рухом є процесом, що реалізуються великою системою управління, що працює в реальному масштабі часу і включає в себе центральні керуючі ЕОМ і периферійні пристрої, пов'язані з ЕОМ за допомогою каналів передачі інформації [1].

Подібні великі системи управління в реальному масштабі часу вже використовуються для резервування місць на авіалініях і в готелях, в банках і т. і. В Японії створено такі системи на залізницях, в авіаційних компаніях і банках в загальнонаціональному масштабі. Для цілей резервування квитків на авіалініях функціонують системи, охоплюючи практично всю земну кулю. Для вирішення подібних проблем був створений цілий комплекс технічних засобів передачі і обробки інформації і математичного забезпечення, а також були розроблені методи забезпечення високого ступеню надійності функціонування. На цій основі концепції систем управління в реальному масштабі часу поширюють сферу свого застосування на такі області, як управління технологічними процесами в промисловості, автоматизування системи управління організаційного типу,

мережі електропостачання, залізниці, повітряні лінії, медичні установи і т. д.

Дорожній рух не є винятком в цій тенденції. Після створення в 1963 р великої системи управління рухом в м Торонто (Канада), що включає в себе ЕОМ, подібні автоматизовані системи з застосуванням ЕОМ з'явилися в 1965-1969 рр. у багатьох містах, включаючи Токіо, Мюнхен, Лондон, Мадрид і Нью-Йорк, і керують рухом в їх великих районах. В Японії в центрі Токіо в 1970 була створена нова система управління, заснована на складних керуючих стратегіях, а після цього був розроблений і реалізується у всіх найбільших містах країни проект нових систем управління. Не забуте і створення автоматизованих систем управління для мережі японських швидкісних доріг. У США також спостерігається різке збільшення числа діючих автоматизованих систем управління дорожнім рухом (АСУД), заснованих на застосуванні ЕОМ.

Макроскопічна модель руху – це модель, яка відображає середні характеристики транспортного потоку, що складається з автомобілей, кожен з яких має стохастичні характеристики[1]. Модель описується своїми наступними параметрами:

v – середня швидкість автомобіля;

k – щільність, кількість автомобілей на полосі руху;

q – інтенсивність руху, кількість автомобілей, перетинаючих одну точку за одиницю часу.

У реальному житті автомобілі рухаються з різними швидкостями (інакше б виконувалась рівність $q = k \cdot v$ і дослідження обмежилися б елементарною моделлю), діапазон яких залежить від багатьох умов (стан дорожнього полотна, час доби, погодні умови та інше). Тому було запропоновано використовувати середню просторову та середню часову швидкості. Для їх розрахунку вводяться відповідні щільності розподілів швидкостей: просторова щільність розподілу $f_s(v)$, що визначається як щільність розподілу швидкостей для автомобілей, займаючих дану ділянку дороги в конкретний момент часу, і часову щільність розподілу $f_t(v)$, що визначається як щільність розподілу швидкостей автомобілей, які проходять задану точку дороги протягом заданого інтервалу часу. Тоді

середня просторова та середня часова швидкості визначаються з виразів:

$$\bar{v}_s = \int_0^{\infty} v f_s(v) dv, \quad (1.1)$$

$$\bar{v}_t = \int_0^{\infty} v f_t(v) dv \quad (1.2)$$

Логічно, що на дорозі у місті не може бути автомобілей, що рухаються по одній полосі, але у різних напрямках. Тому нижня грань інтегрування прийнята за нуль. У вищезазначених формулах передбачається, що швидкість автомобілів не змінюється протягом інтервалу часу, що визначає середню часову швидкість, або на відрізок дороги, що визначає середню просторову швидкість [\[1\]](#).

В теорії транспортних потоків як пропускна здатність, так і транспортна завантаженість виражаються через об'єм (інтенсивність) руху, тобто число автівок за інтервал часу. Пропускна властивість будь-якого дорожнього об'єкту напряму залежить від геометричних характеристик і параметрів транспортного потоку, який використовує об'єкт. Транспортне навантаження об'єкту подібно потоку води в трубі або є тиску вітру на будівлю, є випадковою величиною, і її можливо виразити лише через ймовірність появи тих або інших значень.

Співвідношення між пропускною здатністю та транспортним навантаженням ніде не проявляється так яскраво, як на дорожніх об'єктах високого класу з регулюванням руху. Це може бути один перетин на одному рівні, або ціла система перетинів на одному рівні. Якщо взаємодіючі потоки розділяються шляхом чергування фаз сигналів, дотримання рядності, заборони стоянки, геометричними характеристиками, то в такому випадку транспортна розв'язка називається дорожнім об'єктом високого класу. Перехрестя доріг високого класу можна вважати окремим випадком керованого перехрестя, коли різні дороги знаходяться на одному рівні.

На практиці рух транспортних потоків наближається до випадкової схеми. Кількість автівок, що прибувають в даний пункт за деякий інтервал часу, може значно відрізнятися від середнього значення. Для прогнозування потоку автомобілів, що прибувають до деякого пункту, дуже добре підходить

пуасонівський розподіл. Формула Пуасона виражає ймовірність прибуття до перехрестя даної кількості автомобілей за цикл роботи світлофору, на основі середнього числа прибуття за цикл. Очевидно, що розподіл транспортного потоку протягом доби не є ані регулярним, ані чисто випадковим. В більшості випадків біля 70% об'єму добового руху припадає на інтервал між 7 та 19 годинами. Якщо ж в якості основних інтервалів для розрахунку транспортних потоків замість цілої доби вибрати ранкову або вечірню годину “пік”, то важливо враховувати властивості руху у вибрані інтервали, адже вони можуть кардинально відрізнятися від загальних показників [3].

1.2 Мікроскопічні моделі транспортних потоків

В рамках моделей кожен окремий автомобіль визначається в поточний момент часу t в просторі з деякою швидкості $u_n(t)$. Для кожного автомобіля записується рівняння руху, яке є аналогом закону Ньютона для взаємодії окремих частинок. Тобто, як і в ньютонівській механіці, прискорення (або уповільнення) автомобіля в даний момент часу є його реакцією на вплив з боку оточуючих автівок в попередній момент часу. Відповідно навколишні автомобілі розглядаються як зовнішня сила. Різні форми рівнянь руху в різних версіях моделей слідування за автомобілем виникають в залежності від того, який сенс вкладається у зовнішній вплив. Він може складатися з швидкостей оточуючих автомобілів, з різниці в швидкостях поточного і наступного автомобілей, з відстані між автомобілями і т.д. В загальному випадку:

$$x_n'' = f(u_n, \Delta x_n, \Delta u_n) \quad (1.3)$$

де f - зовнішній вплив на автомобіль. В різних моделях даного типу ця функція може бути різною. В моделі “слідування за лідером” передбачається, що

кожен водій має тенденцію рухатися зі швидкістю автомобіля, що рухається попереду:

$$x_n'' = \frac{1}{T} [x_{n+1}'(t) - x_n'(t)] \quad (1.4)$$

де T - деякий проміжок часу, який можна інтерпретувати як швидкість реакції водія.

В рамках мікроскопічного типу моделей особливий інтерес представляє модель «клітинних автоматів». Простір, час, швидкість і прискорення тут є дискретними величинами і кожна одиниця (автомобіль) може перебувати тільки в одному певному стані з кінцевого набору станів. Траса або смуга на трасі представлена одновимірною ґраткою. Кожна клітинка цієї ґратки може бути або порожньою, або в ній може знаходитися один автомобіль. При переході на новий часовий крок стан системи оновлюється за певними правилами (які можуть бути різні в різних моделях) [4].

Концепція даної роботи передбачає дослідження, окрім макроскопічних показників, мікроскопічних показників транспортного потоку. Очевидно, що проблемні місця ВДМ можна виявити і після візуального аналізу мережі. Однак, для того щоб навести шляхи вирішення проблем, необхідно знати їх конкретні властивості.

Первинною метою світлофорної сигналізації було забезпечення безпеки руху на перехресті, і безперечно, що вона створює затримки руху транспортних засобів. По мета управління світлофорною сигналізацією - максимально можливе зниження рівня транспортних затримок. У роботі буде обговорюватися поведінка транспортного потоку у регульованого перехрестя з метою вивчення можливості знаходження аналітичних виразів пропускної здатності перехрестя, затримок і довжини черг. Крім того, обговорюються критерії якості управління світлофорною сигналізацією.

Світлофорна сигналізація управляє потоком автомобілів за допомогою зеленого, жовтого і червоного сигналів практично у всіх країнах світу. Типовим

методом управління світлофорною сигналізацією є перемикання сигналів за допомогою постійного циклу регулювання або жорстке однопрограмне управління [1].

Звісно, управління рухом за допомогою світлофорної сигналізації здійснюється вже багато років і доведено до певної оптимальної моделі, яку дуже проблематично вдосконалити без радикального підходу до ситуації. Під таким підходом мається на увазі конструктивна зміна моделей розв'язок та перехресть, які розроблялись багато років тому для інших стратегій та потоків транспорту менших об'ємів.

В іншому випадку, навіть при найкращому сценарії налагодження періодів сигналізування світлофорів, вони не будуть виконувати своєї функції, а автомобілі, що прибувають до розв'язки, утворюють чергу, що буде гальмувати, а, можливо, й блокувати рух в усіх напрямках смугами даної ділянки дороги.

Явище, описане вище, називається стохастичним світлофором. Це, загалом, такий режим транспортного потоку на окремих, найбільш проблемних, ділянках ВДМ, при якому після досягнення певного рівня щільності та інтенсивності потоку рух у даному, чи декількох напрямках частково або повністю блокується. Такими властивостями, очевидно, володіють і звичайні перехрестя, з'їзди та інші розв'язки, що не здатні обслуговувати потоки великої щільності та інтенсивності.

У роботі для первинного аналізу та класифікації ВДМ Києва були зібрані координати усіх світлофорів міста, розміщені на мапі (рис. 1.1). На рис. 1.2 ж зображена вже попередньо класифікована ВДМ, на якій позначено найбільш типові та проблемні розв'язки, де мають місце описані вище явища.

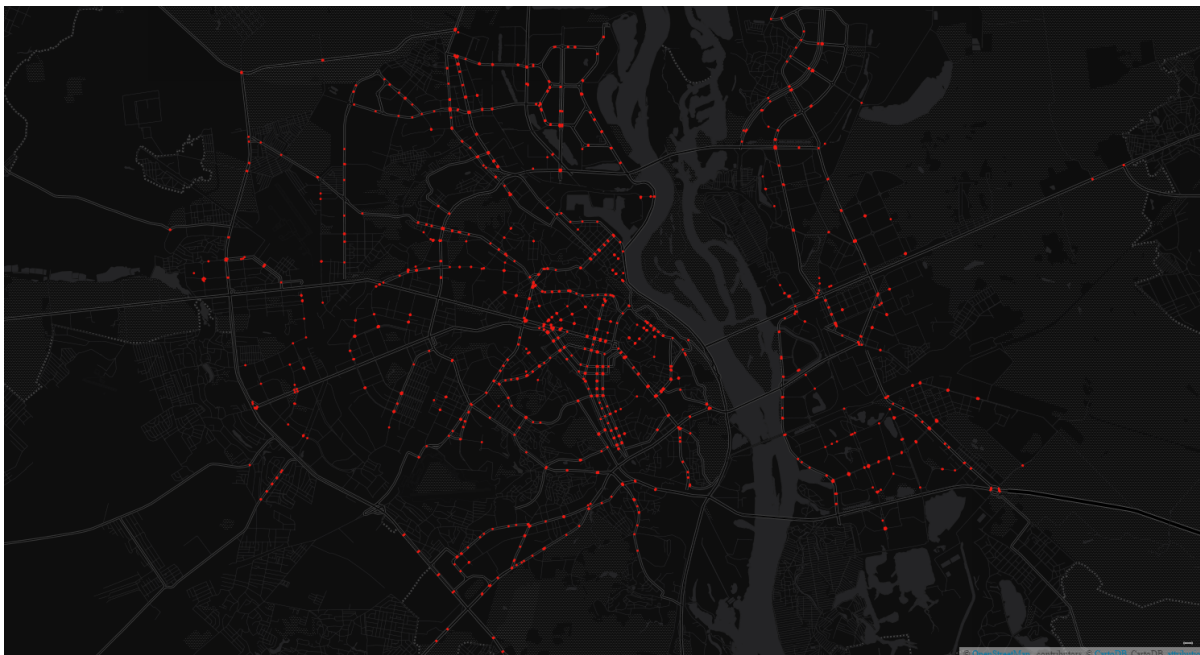


Рисунок 1.1 – Світлофори міста Київ

Слід зазначити, що були виокремлені ті ділянки, на яких оголошені проблеми можливо вирішити за реальних ресурсів для цього. Так, більш показними можуть бути стики бульварів Шевченко та Лесі Українки, але, по-перше, ці дві магістралі взагалі не виявляється можливим повністю модернізувати під характеристики фрівея, а, по-друге, таке суттєве втручання у проектування автошляхів, якого потребує вирішення такого роду проблем, є майже нереальним в умовах щільної забудови центральної частини міста.

Надалі, у третьому розділі роботи будуть приведені результати експериментів моделювання характеристик потоку, припускаючи, що показані проблеми були вирішені.

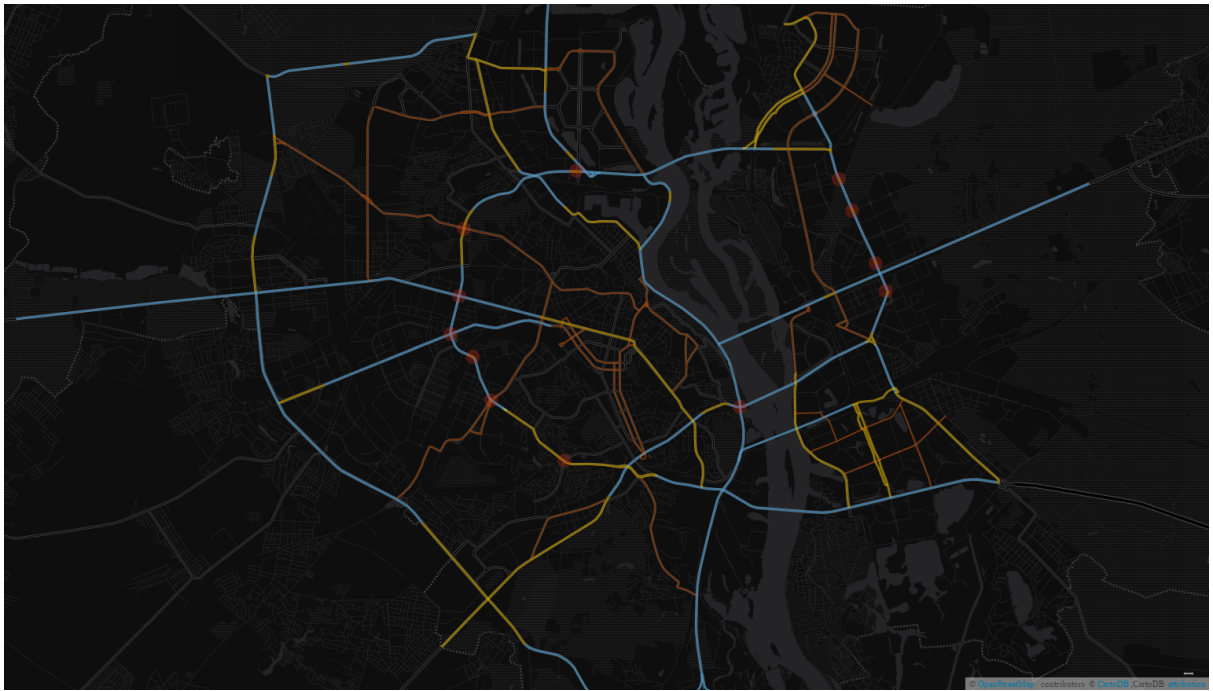


Рисунок 1.2 – Місця особливих проблем керування рухом

1.3 Дворідинна гідродинамічна модель та її властивості

Згідно моделі, запропонованої у 1979 році вченими Департаменту теоретичної фізики General Motors, вуличний трафік розглядається як поєднання двох типів транспорту: того, що рухається - d_r , та того що стоїть - d_s , значення яких є нормованими: $d_r + d_s = 1$. Крім того в моделі має місце ергодична гіпотеза, згідно якої доля автомобілей, що не рухаються, на конкретно взятому відрізку дороги дорівнює питомій вазі простоїв у загальній тривалості поїздки.

$$d_s = \frac{ST}{TT} \quad (1.5)$$

де ST – час простою (standing time), RT – час руху (running time), TT – загальний час поїздки (travel time). Очевидно, що $RT + ST = TT$.

Значення змінних TT та RT обернено пропорційні середній просторовій та часовій швидкостям. Проте на відміну від загальної макроскопічної моделі,

описаної Іносе та Хамада [1], автори «дворідинної» моделі, опираючись на гіпотезу степеневого спадання швидкості з ростом завантаження дороги, розраховують швидкості за новими формулами. Тут роль параметра завантаження дороги грає відносна кількість автомобілей, що не рухаються у трафіку:

$$\bar{v}_t = v_{max} \cdot (1 - d_s)^\eta, \quad (1.6)$$

$$\bar{v}_s = v_{max} \cdot (1 - d_s)^{\eta+1} \quad (1.7)$$

де v_{max} – середня максимальна швидкість при $d_s \approx 0$, а η – параметр моделі, який також називається «Індикатором якості обслуговування транспортного потоку у мережі», який необхідно підібрати. Смысл цього параметру полягає у еластичності часу та швидкості переміщення мережею до збільшення навантаження на неї. Надалі будемо називати цей параметр коефіцієнтом або параметром еластичності. З формул, наведених вище, витікає рівняння, яке і є моделлю Германа-Пригожина:

$$RT = T_{min}^{\frac{1}{\eta+1}} \cdot TT^{\frac{\eta}{\eta+1}} \quad (1.8)$$

де $T_{min} = \frac{1}{v_{max}}$ – середній мінімальний час у дорозі.

При нульовому значенні параметра еластичності час перебування у дорозі RT зберігається на рівні середнього мінімального часу, тому загальний час у дорозі TT буде збільшуватись лише за зростання часу простою ST . Якщо ж $\eta > 0$, то загальний час поїздки зростає за двома компонентами одразу. Це означає, що чим більше значення приймає коефіцієнт еластичності, то тим гірше дорожня мережа справляється зі збільшенням навантаження на неї [3].

Останній факт пояснюється прямою залежністю параметра завантаження дороги d_s від щільності транспортного потоку, описаною авторами. Розвиваючи це далі, можна сказати, що коли щільність, тобто кількість автомобілей на полосі, зростає, водії скидають швидкість задля забезпечення безпеки руху на дорозі.

Тому можна зробити висновок, що швидкість руху (а, отже, і час поїздки) залежить від щільності дорожнього руху, а саме є її спадною функцією. Вид цієї функції визначається виходячи з унікальних параметрів конкретного відрізка транспортної мережі. Можна навести найпростіший приклад – лінійна апроксимація:

$$v = v_{max}(1 - \frac{k}{k_c}) \quad (1.9)$$

На сьогоднішній день такий спосіб моделювання транспортних потоків є дуже зручним у сенсі практичних досліджень, коли постає питання вибору даних. Завдяки технологіям GPS-трекерів, встановлених на автомобілях, можна отримувати достатньо великі вибірки даних у системі координат “ $RT - TT$ ” для аналізу.

Не дивлячись на очевидні переваги, описану вище стандартну модель Германа-Пригожина під час практичного використання було модифіковано (розглядається модифікація Б.А.Ткаченко). Для наступного варіанту моделі, який і було використано для аналізу ВДМ м.Києва, достатньо отримувати данні часу руху в дорозі RT та загального часу поїздки TT :

$$\ln(RT) = k \cdot \ln(TT) + b \quad (1.10)$$

звідки, після оцінки параметрів k та b , отримуємо:

$$\eta = \frac{k}{1-k}, \quad (1.11)$$

$$T_{min} = e^{b(\eta+1)} \quad (1.12)$$

Порівнюючи дану модель з іншими, ця має ряд беззаперечних переваг, таких як простота даних, що мають бути зібраними для аналізу, достатня гнучкість щодо поведінки самих об’єктів моделі. Звичайно, така простота опису

поведінки потоків несе за собою деякі неточності і модель є не такою детальною як ті, що побудовані на основі тривалих широкомаштабних вимірювань щільностей потоків, інтенсивності руху. Однак, в даній роботі достатньо тих характеристик, які можна отримати за допомогою цієї моделі, а тип даних для збору найкраще відповідають і вимогам щодо об'ємів інформації і можливим ресурсам, на які можна розраховувати. Більше того, Київ, порівняно з такими мегаполісами як Барселона, Токіо, Лос Анджелес є не таким великим. Тому також логічно, що значну частину проблеми має вирішити інфраструктурна, соціальна складові.

Висновки до розділу

В даному розділі була розглянута мережа вулиць та доріг міста Києва, основні теоретичні відомості щодо тематики роботи, описані різними авторами в минулому. Проведено аналіз та класифікація ВДМ, описані та пояснені явища, що будуть зустрічатися вподальшому у роботі.

Для повноти картини аналітики транспортної мережі міста не вистачає системи роботи громадського транспорту, адже більшість городян користуються саме цим видом транспорту щоб дістатись іншої частини міста.

Цей етап роботи та аналізу є початковим, тобто першочерговим завданням було зібрати базові відомості про об'єкт дослідження, зробити перші висновки щодо його стану, обрати інструментарій для подальшої роботи та проектування.

РОЗДІЛ 2 ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИК ВДМ МІСТА ЗА ДОПОМОГОЮ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ

2.1 Поділ транспортного потоку та визначення елементів досліджувальної системи

Перед тим як переходити до дослідів і моделювання, необхідно визначити та формалізувати елементи системи, з якою вподальшому буде проходити робота.

Аналізуючи транспортну систему міста та концепцію “пропозиція - попит” [5,6], було вирішено виділити наступні ключові для дослідження параметри системи транспорту у місті - транспортні агенти (учасники дорожнього руху), ВДМ та район міста. Кожен з виділених елементів у свою чергу так само є залежним від декількох параметрів на більш деталізованому рівні: транспортні агенти поділяються на особистий, спеціальний та громадський транспорт, ВДМ розділено на наступні типи - магістральні дороги (фрівеї та псевдофрівеї), дороги з виділеною смугою для громадського транспорту та загальні дороги (без ознак та характеристик перших двох), і виділені наступні умовні райони міста - центральний, середня зона та периферія (рис. 2.1).

Розглянемо та обґрунтуємо такий поділ більш детально за кожним параметром. З точки зору транспортних агентів функцію пасажироперевезення виконує два види транспорту - особистий і громадський. Перший характеризується невеликими габаритами, достатньо швидкою реакцією та невеликою затримкою в динаміці руху (згідно з мікроскопічними моделями), і зазвичай вкрай низьким показником пасажироперевезення. Громадський транспорт навпаки має великі (автобуси та тролейбуси) або середні (маршрутні таксі, мікроавтобуси) габарити, зазвичай великий або нижче середнього показник затримки в динаміці руху, проте максимально допустимі на дорозі значення обслуговування пасажиропотоку. Окрім таких двох очевидних було також додатково виділено третій вид транспорту - спеціальний. Під таким вважається транспорт, який взагалі не виконую функцій пасажироперевезення як таких. До

цього типу можна віднести вантажівки, спеціальну, дорожню та військову техніку, карети та автомобілі спеціальних служб. Зазвичай такі транспортні засоби мають великі габарити та мають збурюючий вплив на систему (заповільнюють, обмежують або навіть призупиняють рух транспорту).

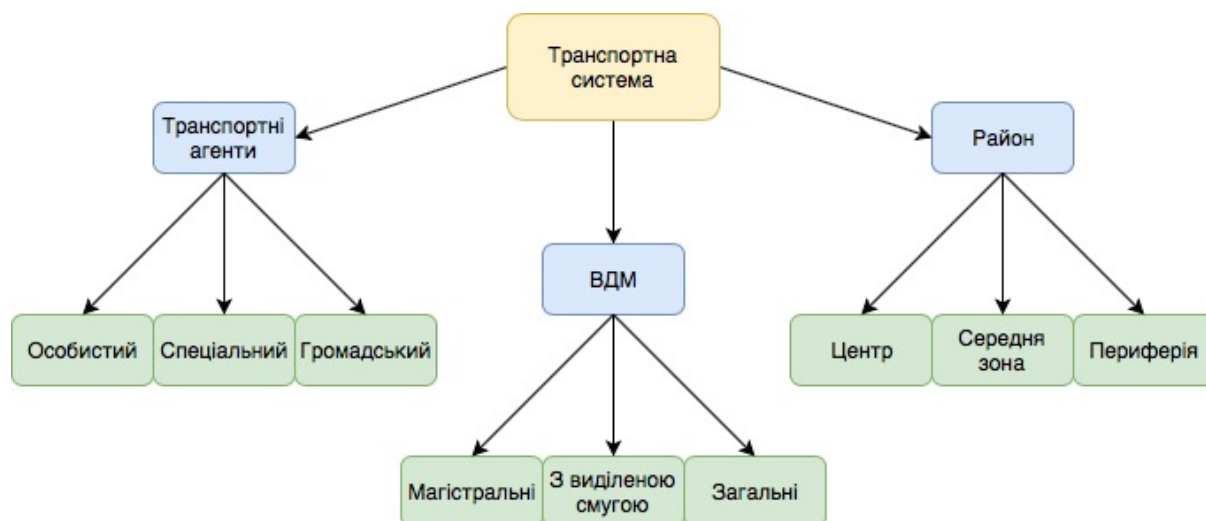


Рисунок 2.1 – Поділ системи за ієрархічною моделлю

Насьогодні великі міста світа мають дві взаємопов'язані компонентами ВДМ: низовою мережею вулиць зі світлофорним регулюванням і системою міських фрівеїв. Організація руху у таких містах передбачає планувальні та регулюючі заходи для максимально гладкого сполучення двох цих систем, включаючи регулювання доступу, поділ проїжджої частини фрівея на експресну і колекторних складової щую і т. п. Всі ці заходи мають на меті, зокрема, для того, щоб околиці з'їздів з фрівеїв на місцеву мережу не перетворювалися в епіцентри виникнення «Ударних хвиль в транспортному потоці» [\[3\]](#).

Під «ударною хвилею в транспортному потоці» мається на увазі наступне явище. Якщо з з будь-якої причини швидкість декої частини потоку знижується до деякого рівня, то знижується і інтенсивність транспортного потоку на цій самій ділянці. Тому щільність даної частини потоку збільшиться і швидкість буде надалі знижуватись. Іншими словами, збурення швидкості є незатухаючим, що і демонструє нестійкість поведінки транспортного потоку. У цих випадках автомобілі в потоці змушені неодноразово рушати з місця і зупинятися. Таке

явище носить назву ударна хвиля [1].

Що стосується самих міських фрівеїв, то це автомобільна дорога, відокремлена від мережі невеликих вулиць зі світлофорним керуванням розв'язками. Тут завжди передбачено інженерне розмежування проїжджих частин за напрямками руху. Фрівеї намагаються прокладати з максимальною ізоляцією від забудови і пішохідних потоків: в смугах відчуження залізниць, уздовж річок і ліній ЛЕП, в межах промислових зон. Для випадків, коли фрівеї за потребою йде через забудовані райони його трасують естакадним або тунельним ходом. На периферії міста фрівеї, як правило, йде «по землі», а його проїжджу частину ділять на експресну і колекторних компоненту.

Нажаль, чітко виокремленої мережі фрівеїв у місті Київ немає. Існують окремі частини, що мають характеристики фрівеїв, але для цілісності такої системи, мережа має бути замкненою. А, інакше, швидкісний рух на такій дорозі рано чи пізно наштотується на потік, що має значно нижчу швидкість руху і більшу щільність. На основі цих фактів було проаналізовано ВДМ міста та виявлено наступні 3 типи доріг глобального сполучення: фрівеї (будемо так називати відтинки доріг, що мають усі вищеперелічені властивості фрівеїв, але не входять до цілісної замкненої системи автодоріг), псевдофрівеї (відтинки доріг, які, доповнюючи множину фрівеїв могли б замкнути мережу і створити цілісну систему, але мають деякі недоліки, що не вписуються у характеристику фрівеїв, проте можуть бути усунені шляхом модернізації автошляхів) та магістралі (вулиці, що можуть мати світлофорне регулювання руху, наземні пішохідні переходи, паркувальні місця біля узбіччя, проте мають достатньо великий пропускний потенціал і є дуже вагомими у мережі міста).

На рис. 2.2 зображена візуалізація цих трьох типів, на ньому голубим кольором зображено фрівеї, жовтим псевдофрівеї і помаранчевим – магістралі.

Дослідження характеристик транспортних потоків буде проводитись саме на цих автошляхах, де рух є достатньо динамічним і автомобілі можуть досягати достатньо великих швидкостей, які дозволені для руху вулицями міста. Це зауваження логічне, тому що для невеликих вулиць, де інтенсивність руху може

бути невеликою і водії просто можуть рухатися з невеликою швидкістю не через щільність та напруженість потоку, а просто через те, що так зручніше та безпечніше пересуватись вулицями, які потребують більшої сконцентрованості через можливість непередбачуваних подій, таких як випадково з'явившийся на проїжджій частині пішохід.

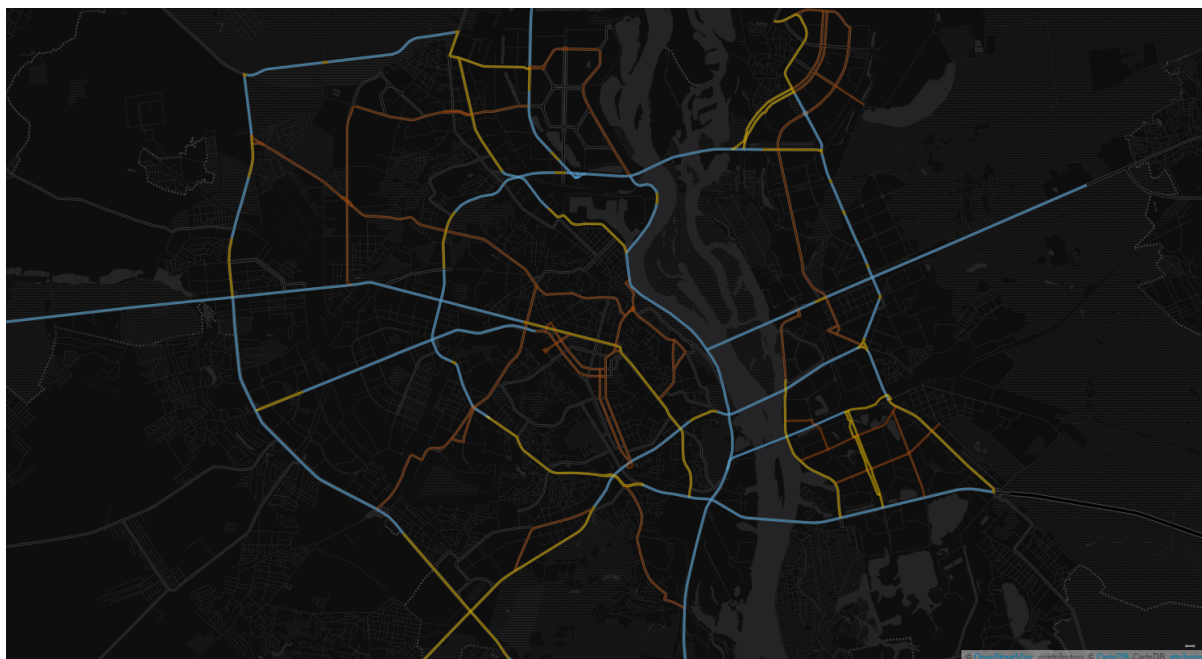


Рисунок 2.2 – Досліджена мережа вулиць міста Києва

Також можна помітити, що в деяких місцях посеред фрівеїв мають місце незначні відтинки жовтого кольору, тобто псевдофрівеї. Це зовсім короткі ділянки доріг, що мають світлофорне регулювання руху, яке може бути заміненим на розв'язку з декількома рівнями або ж простим корегуванням напрямів руху потоків. Надалі, у третьому розділі роботи будуть наведені порівняльні результати моделювання на реальних даних та на скорегованих даних, вирахованих з урахуванням поліпшення пропускної спроможності фрівеїв (усунення проблемних ділянок, що не підпадають під загальну концепцію відокремленої швидкісної магістралі).

Залишається лише додати про спеціальний вид міських автодоріг, які почали впроваджуватись у Києві порівняно нещодавно. Мова йде про дороги із виділеною смугою для громадського транспорту. За правилами дорожнього руху

усім іншим учасникам забороняється рухатись нею крім маневрування.

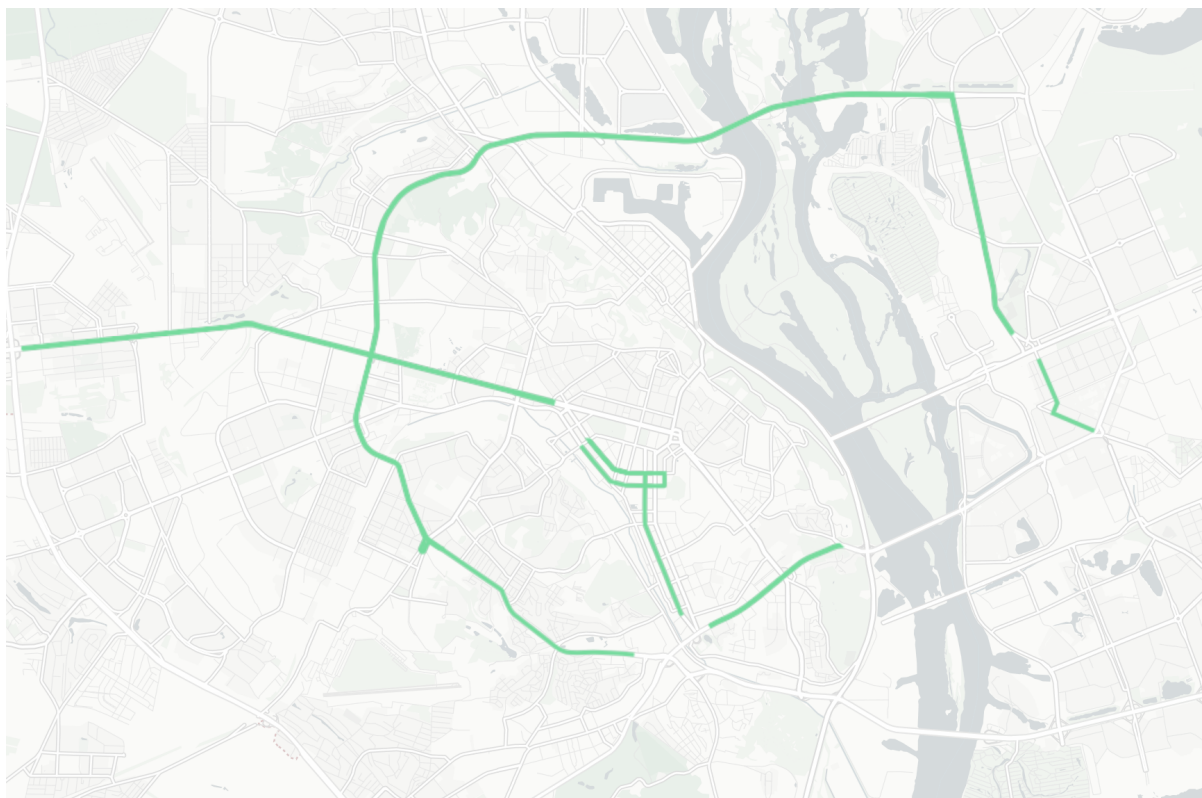


Рисунок 2.3 – Ділянки доріг міста з відділеною смугою для громадського транспорту

Таке проектувальне рішення покликане збільшити швидкість та потужність безперервного потоку громадського транспорту, адже саме за допомогою нього щодня обслуговується лівова частина пасажиропотку міста (рис. 2.3). Ці міркування і сам підхід є, беззаперечно, логічними та справедливими. Однак, на практиці далеко не завжди вдається досягти правильного балансу між пропускними спроможностями розділених таким чином смуг руху і грамотно використати такий інструмент. Мова йде про випадки коли виділення окремої смуги для громадського транспорту значно звужує іншу частину дороги і, тим самим, в кращому випадку погіршує пропускну спроможність на даному відтинку дороги, а в гіршому - породжує заторові ситуації. Саме тому такий тип доріг було виділено як окремий клас, поведінка на якому і буде досліджуватись.

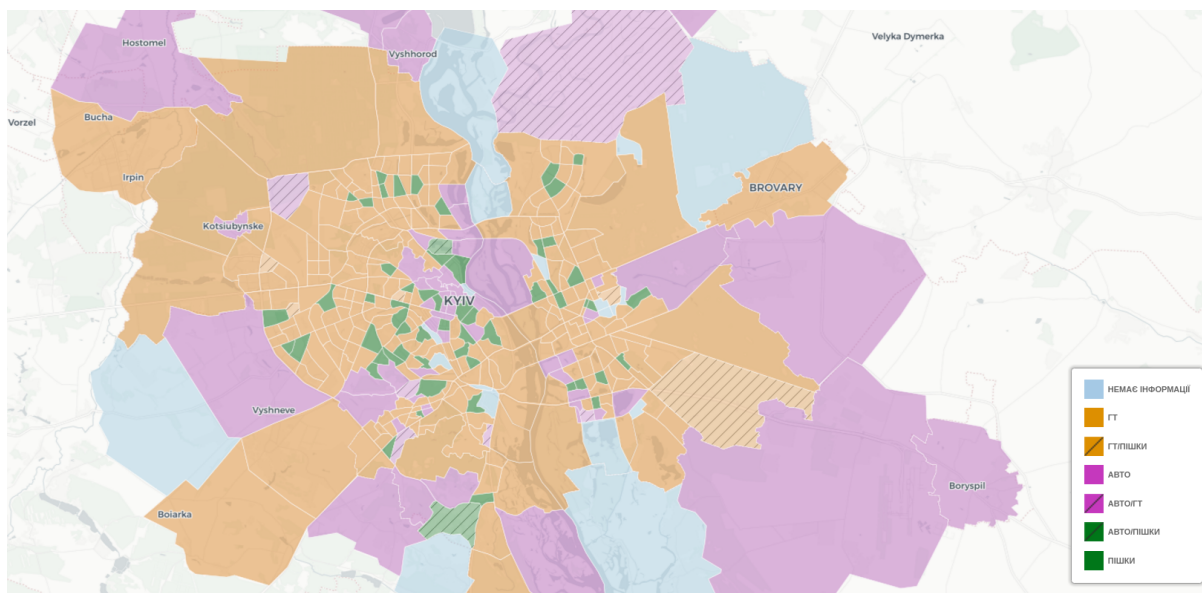


Рисунок 2.4 – Використання різних видів транспорту у районах Києва

Київ було поділено на 3 зони [7]:

- а) Центральне ядро (у межах площ – Європейська – Львівська – пл. Перемоги – палац «Україна» — пл. Лесі Українки – пл. Слави);
- б) Середня зона (обмежена вузлами: Севастопольська пл.- Московська пл. – Либідська пл. – міст ім. Патона – Ленінградська пл. – вул. Гагаріна, ст. м. Чернігівська – вул. Братиславська – пр-т Ватутіна – Московський міст – Московський пр-т – Олени Теліги – вул. Довженка – вул. Індустріальна – вул. Гетьмана – Чоколівський б-р);
- в) Перефірійна зона (з правого берега Дніпра обмежена: вул. Міська – пр-т Палладіна – Велика Кільцева – Академіка Заболотного – Столичне шосе – Наддніпрянське шосе і далі на лівий берег – Південний міст – пр-т Бажана – Харківська площа).

На Рис. 2.4 зображена візуалізація наведеного зонування міста:

- червоний полігон - центральне ядро;
- зелений полігон - середня зона;
- синій полігон – периферія.

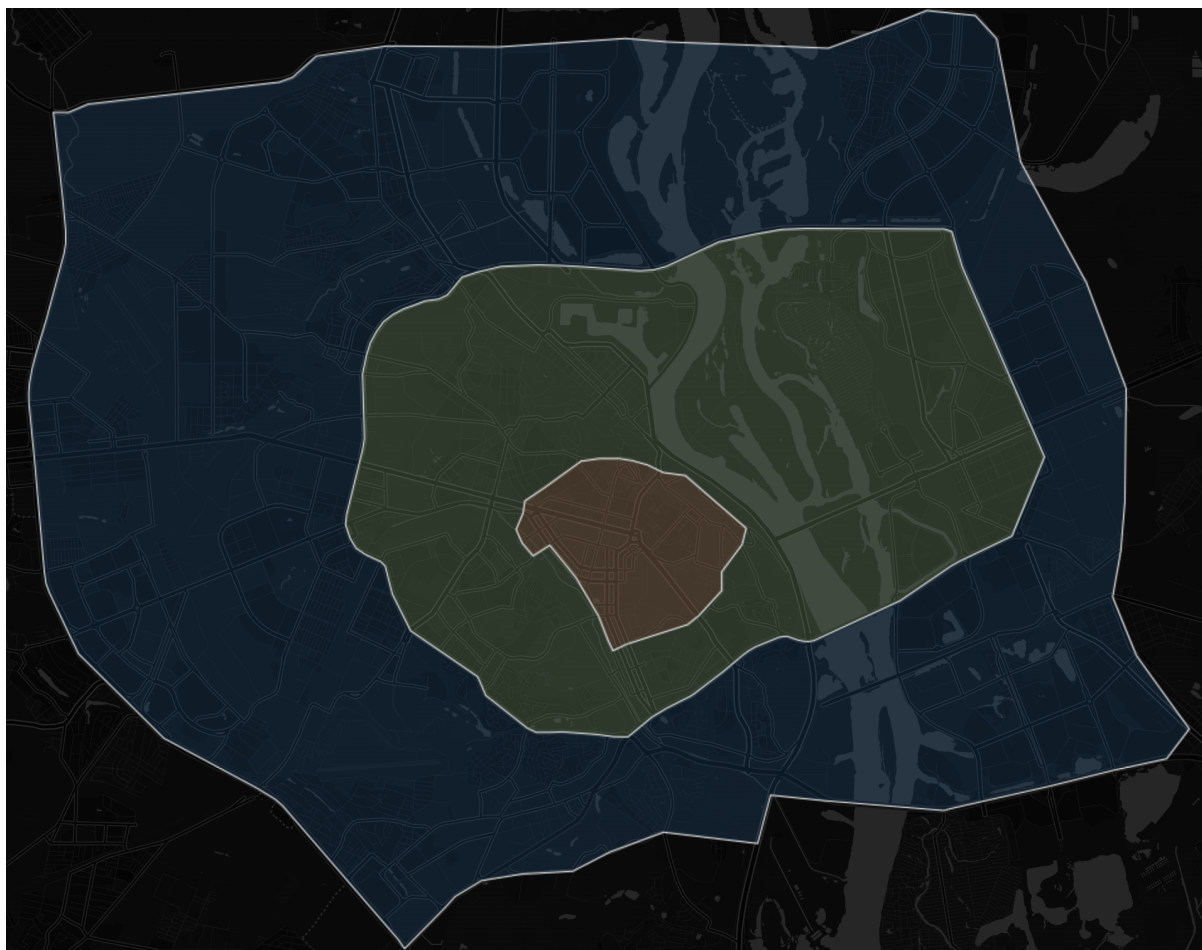


Рисунок 2.4 – Зонування міста Київ

2.2 Гідродинамічна модель транспортного потоку в залежності від функціонального складу

У попередній частині даного розділу, по суті, були описані функціональні залежності моделі, що безпосередньо впливають на спостереження та результати. Розділивши систему на такі функціональні частини, можна приступати до організації та адаптації обраної моделі.

Оцінка якості транспортного сполучення міста (а саме характеристики транспортних потоків) буде здійснюватись на основі дворідинної гідродинамічної моделі Германа-Пригожина, описаної вище. Поділ множини транспорту на

особистий, громадський і спеціальний зумовлює модернізацію моделі, адже спостереження тепер ведуться не за потоком вцілому, а й за окремими групами його частин. Агрегування окреслених складових системи було вирішено реалізувати наступною функцією:

$$X^{(1)} = \omega_{OC} \cdot X_{OC} + \omega_{GP} \cdot X_{GP} + \omega_{СП} \cdot X_{СП} \quad (2.1)$$

де X_i - спостереження (у системі "RT – TT" класичного викладення моделі) за i -м видом транспорту (індекси: OC - особистий, GP - громадський, СП - спеціальний), ω_i - вага i -го виду транспорту.

Цей параметр є налаштуванням моделі, він вираховується для спеціального та громадського транспорту шляхом перетворення значення відносної долі того чи іншого виду транспорту у потоці:

$$\omega_i = f_i(p_i), \quad i \in \{СП, GP\} \quad (2.2)$$

При чому на усі три види транспорту накладається умова нормованості:

$$\sum_i \omega_i = 1, \quad i \in \{СП, GP, OC\} \quad (2.3)$$

Тому, оскільки особистий транспорт завжди (в загальному випадку на середньостатистичній ділянці дороги) є основою транспортного потоку і не несе більш негативного впливу на його властивості (рис. 2.5-2.7), вага для нього обчислюється за залишковим принципом:

$$\omega_{OC} = 1 - \omega_{GP} - \omega_{СП} \quad (2.4)$$

Самі ж перетворення ваг були обрані у вигляді зростаючих опуклих на одиничному проміжку функцій:

$$f_{\text{СП}} = \frac{x}{1-x} \quad (2.5)$$

$$f_{\text{ГР}} = e^{2x} - 1 \quad (2.6)$$

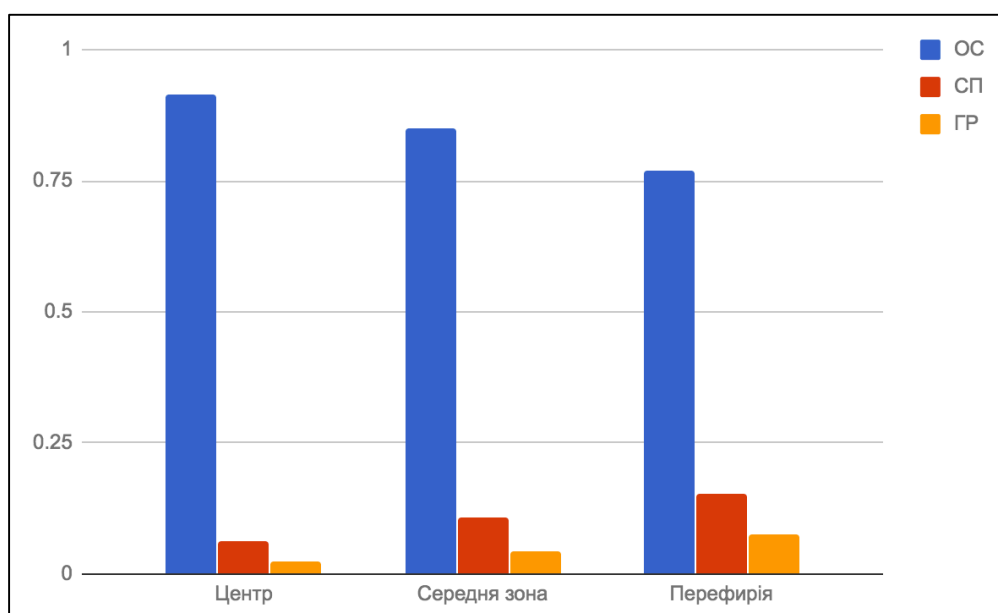


Рисунок 2.5 – Відносні долі розглянутих видів транспорту в залежності від району спостережень

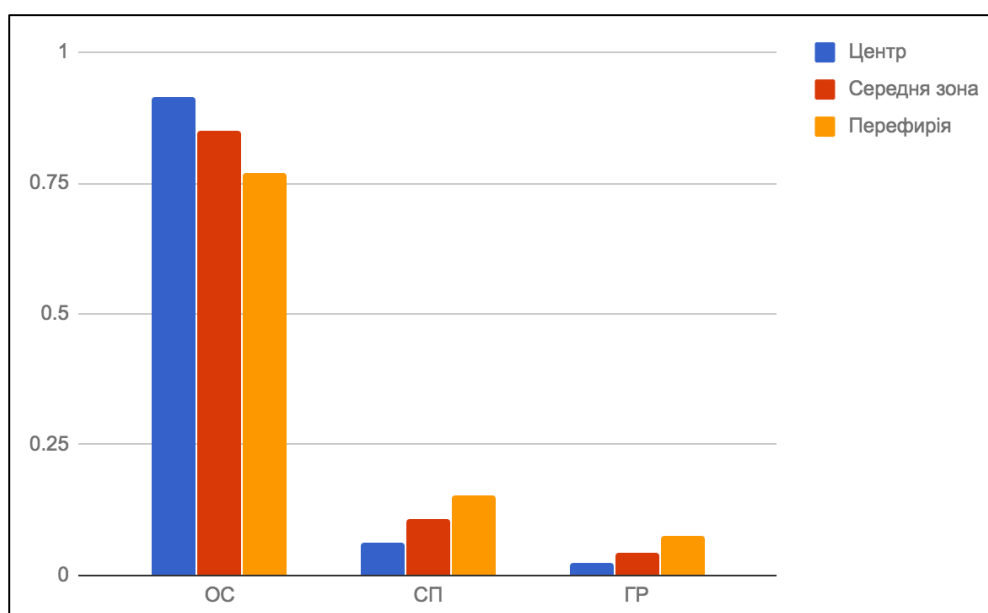


Рисунок 2.6 – Відносні долі розглянутих видів транспорту по районам міста

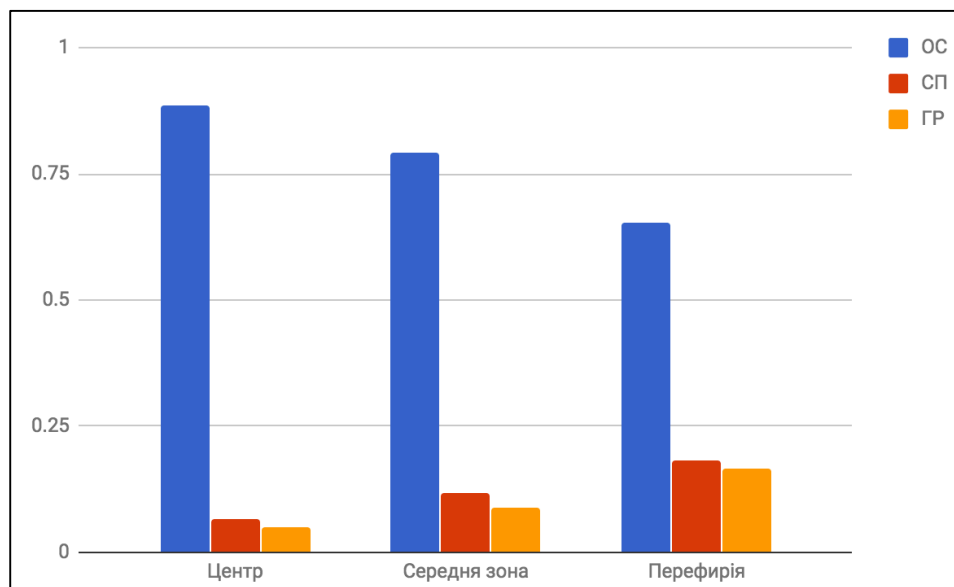


Рисунок 2.7 – Відносні долі розглянутих видів транспорту в залежності від району спостережень після перетворення

Можна помітити, що для громадського транспорту функція перетворення обрана більш стрімко зростаючою аніж для спеціального. Це пояснюється їх мікроскопічними властивостями, що виявляються під час спостережень. А саме те, що громадський транспорт у більшості своїй рухається з достатньо обмеженою швидкістю (велике навантаження пасажирами, міркування безпеки) і має більший час затримки початку та закінчення руху. Також для спеціального транспорту функція має асимптоту у точці 1 (доля будь-якої складової потоку не перевищує усього об'єму потоку), а для функції перетворення кількісної характеристики громадського транспорту - ні. Тому тут необхідно зазначити, що таке обмеження є нестрогим, адже на ділі “робочі” межі області визначення функції, як показує практика, не перевищують значення 0.3-0.4. І дійсно, важко уявити собі колапсуючий потік, в якому більше половини транспорту припадає на громадський.

показник якого змінюється в залежності від часу ведення спостережень та пікових навантажень на ділянку ВДМ згідно з історичними даними, і відображає силу негативного впливу на ситуацію з заторами. Іншими словами, вплив на погіршення пропускної спроможності ділянки ВДМ в деякий момент доби,

умовного легкового автомобіля, вантажівки та тролейбусу буде вважатися різним.

Наступним кроком агрегуємо залежність від типу ВДМ:

$$\begin{aligned}
 X^{(2)} = & (1 + I_C \cdot \omega_{OC}) \cdot (1 - I_M \cdot \omega_{OC}) \cdot \omega_{OC} \cdot X_{OC} + \\
 & (1 - I_C) \cdot (1 - I_M \cdot \omega_{GP}) \cdot \omega_{GP} \cdot X_{GP} + \\
 & (1 + I_C \cdot \omega_{CP}) \cdot (1 - I_M \cdot \omega_{CP}) \cdot \omega_{CP} \cdot X_{CP}
 \end{aligned} \tag{2.7}$$

де I_C - індикатор виділеної смуги для громадського транспорту, а I_M - індикатор дороги магістрального типу (фрівей з щонайменше трьома смугами для руху).

З обраного розташування множників можна зрозуміти, що, як це і відбувається на практиці, за наявності окремої смуги для громадського транспорту, ситуація на іншій частині ділянки ВДМ погіршується і впливає пропорційно визначеним вагам. А сам вплив громадського транспорту на загальний потік навпаки нівелюється. Зрозуміло, що таке допущення є не зовсім коректним, адже громадський транспорт все ще підкоряється деяким тим же обмеженням і законам, що і інша частина трафіку (розв'язки, світлофори). Одна в такому випадку у всьому іншому вони не мають нічого спільного і потік громадського транспорту можна сміливо розглядати як окремий і пов'язувати з основним лише за зменшенням просторової складової руху і таким видом впливу.

Останнім необхідно включити вплив районування міста. В даному випадку можна використати просту степеневу функцію, адже вплив такого показника є однаковим для усіх трьох видів транспорту та типів доріг:

$$X^{(3)} = X^{(2)1-\psi} \tag{2.8}$$

де ψ - коефіцієнт утруднення руху, який залежить від напрямку руху в конкретний момент доби. Експериментально були підібрані його значення, які зображено на рис. 2.8 для різних комбінацій районування та часу доби. Можна помітити закономірність між піковими значеннями в центрі та середній зоні.

Зранку спершу збуджується саме середня зона, яка пропускає трафік в центральну частину, через що пік у центрі має невелике запізнення, і протилежна картина ввечері. Також часові межі високої інтенсивності у центрі є більшими ніж в середній зоні.

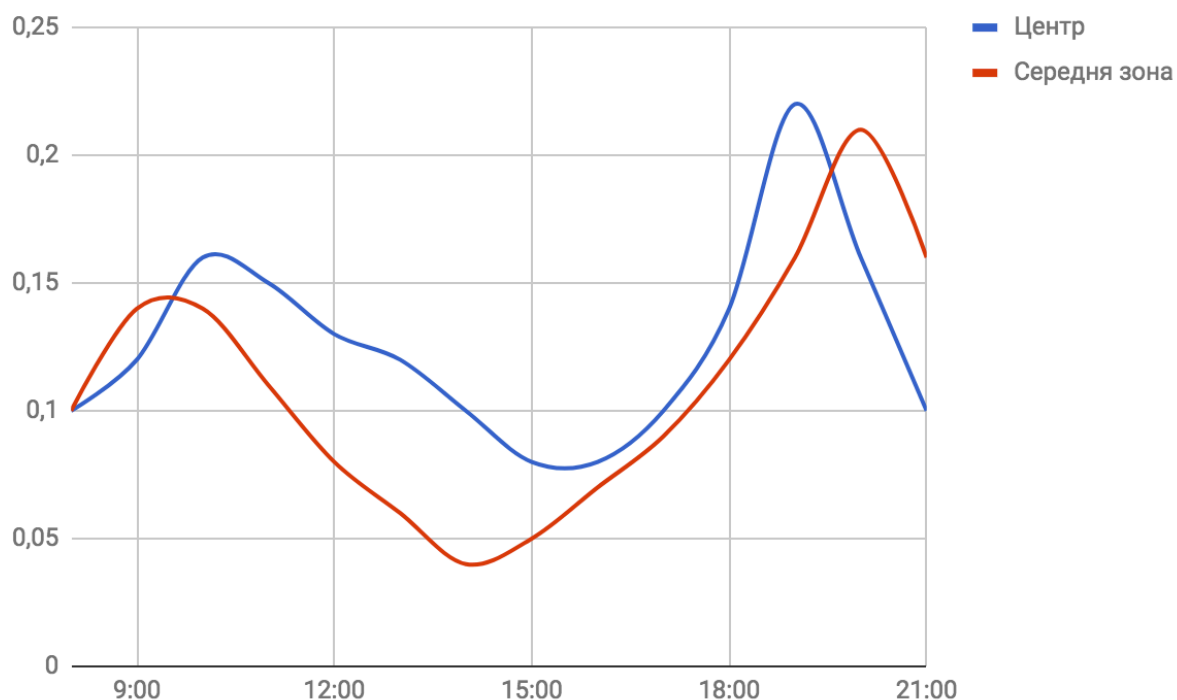


Рисунок 2.8 – Графічне зображення значень коефіцієнту утруднення руху після експериментальних розрахунків

Тобто, більшість доріг та магістралей спроектовано або ж одразу двосторонніми (рух в обидва боки), або ж вони мають вулицю-антогоніста (як вулиці Жилинська та Саксаганського у Києві). Таким чином завантаженість цих шляхів і ситуація на дорозі залежить від попиту, який, в свою чергу, з деякою закономірністю залежить від часу доби. Іншими словами, на одній і тій же вулиці погіршення темпу руху зранку буде в одному напрямку, а ввечері вже в протилежному. Можна провести аналогію з судинами людини - артерії качають кров від центру до периферії (вечірній час “пік”), а вени повертають її з віддалених частин системи до серця (ранковий час “пік”).

Останнє наведене перетворення застосовується лише для оцінки ситуації у місті в цілому на розгалуженій системі. Таку вибіркковість можна пояснити тим,

що результати моделювання в окремих районах міста мають бути порівняльними. Проводячи експерименти в межах окреслених районів ми можемо автоматично враховувати цю залежність при аналізі результатів (що і відбувається у класичних прикладах використання моделі). З іншого боку, при вимірюванні показників на усій ВДМ з даними у стандартному виді, негативний вплив перевантаженості центральної частини міста (який вже давно в деякому сенсі є нормою для багатьох мегаполісів) завжди буде змінювати загальну картину в гірший бік. Тому, останнє перетворення покликане пом'якшити результати.

Також необхідно зазначити, що у системі спостереження “ $RT - TT$ ” при погіршенні ситуації на дорозі, зростання показника загального часу поїздки, очевидно, не є однаковим зі зростанням показника часу у русі. Загальний час подорожі зростає одночасно за рахунок і часу руху (RT), і часу простою (ST), при чому коли мова йде про зменшення еластичності потоку, зростання йде за другим показником в залежності від критичності тенденції до заповільнення руху.

Саме тому було вирішено не застосовувати наведені перетворення до показника RT , оскільки, фактично, він є незмінним (окрім випадків, коли порогове значення відсіву нерухомих елементів потоку більше за нульову швидкість і авто може пройти майже усю дистанцію “нерухомо”, однак специфіка та подальша обробка зібраних даних дають змогу одразу застосовувати їх в побудованій моделі).

2.3 Особливості зібраних даних та аналіз умов середовища

Під час виконання роботи була оброблена велика кількість даних, які умовно можна поділити на дві частини. Перша використовувалась у попередньому аналізі ВДМ та підготовці до побудови моделей. Друга – це безпосередні виміри змінних часу руху та часу простою авто у потоці машин.

До першої категорії відносяться координати світлофорів та дані щодо

поверховості житлових будинків міста. Перші, як вже згадувалось раніше, використались у аналізі та розмежуванні ВДМ на групи. Для того ж щоб зрозуміти, у яких напрямках по вже попередньо підготовленій мережі вулиць будуть рухатися основні потоки автомобілей, які й будуть провокувати заторові ситуації, було вирішено хоча б в деякій мірі візуалізувати щільність населення найбільший районів міста. Для цього з картографічного порталу було завантажено близько трьох мільйонів записів, які містили дані щодо інфраструктурних об'єктів та будівель міста. Надалі з цього матеріалу шляхом обробки за допомогою спеціально написанного скрипту на мові Python були виокремлені лише житлові будинки з кількістю їх поверхів та приватні будинки, поверховість яких не враховувалась. Таким чином, як показано на рис. 2.9, у стилі “heatmap” сформувалась пама міста, яка дає достатнє уявлення про кількість людей, переважна кількість яких, буде переміщуватись спочатку до основних автомобільних магістралей міста, а потім по напрямку до центральної частини. Такий когнітивний аналіз предметної області обґрунтовує побудову маршрутів, на яких вимірювались необхідні для моделі дані.

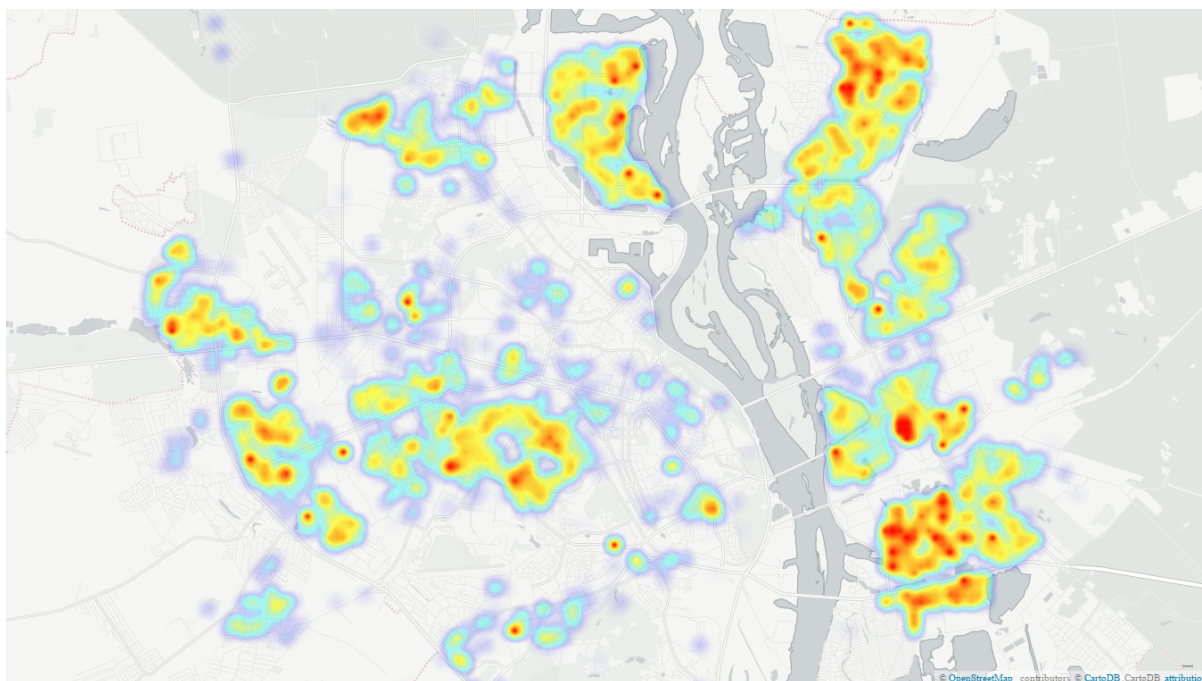


Рисунок 2.9 – Щільність населення спальних районів міста

Щодо другої частини даних, використаних у роботі, то тут, як було сказано в огляді самої моделі, необхідні дані GPS координат руху деякої вибірки автомобілей, яка б відображала середні характеристики потоку загалом. Саме з цих двох причин було вирішено використовувати дані з онлайн-карт. По-перше, дані, що фломуються для користувача, є попередньо обробленими GPS треками автомобілей, у яких знаходяться пристрії, що передають супутникові координати, тому є рельними вимірами у просторі. По-друге, таких авто в потоці достатньо багато і, тому, вони, рухаючись у різних його частинах, можуть достатньо точно відобразити поведінкові характеристики потоку. Тобто, дані, отримані з різних машин, дають усереднене уявлення щодо характеристик на даних момент.

В конкретній моделі дані часу руху особистого та громадського транспорту збирались через Google Directions API. Аналогом часу руху авто у потоці виступив час руху за маршрутом за ідеальних дорожніх умов без затору, тривалість поїздки не потребувала ніякого аналогу, адже сервіси відображають саме цей необхідний параметр. Такий вибір можна назвати правильним, адже, логічно, що, якби не було заторів на дорозі, то авто пройшло б визначений маршрут майже без будь-яких перешкод, за винятком світлофорів (але їх вплив можна вважати несуттєвим, адже система світлофорного регулювання в ідеалі відуалібрована так, що при майже нульовій або перехідній інтенсивності руху, авто, при середній допустимій швидкості руху, потрапляє у так званий «зелений коридор» - явище, при якому усі світлофори, що зустрічаються за маршрутом руху, увімкнені в режимі зеленого кольору сигналізації).

Проте, виявилось, що такий вибір даних є грубим і, для моделі Германа-Пригожина, виявляє її надмірні небажані риси. Як вже було наголошено раніше, модель має дуже зручну особливість – для потоку транспорту можна, без втрати властивостей моделі, змінювати рубіж швидкості, за яким вважається, що автомобіль не рухається. Однак, з такими даними модель починає поводитися неоднозначно. Справа полягає в тому, що зростання показника TT у класичних варіантах вимірів даних здійснюється не в останню чергу за рахунок зростання показника RT. Але у випадку вимірювання саме таких даних, які було вирішено

збирати спочатку, показник тривалості руху автомобіля у дорозі залишається незмінним. Отже, логічно зробити висновок, що зростає лише показник ST , що, насправді, далеко не завжди є так. Таке явище має місце коли швидкість потоку починає зменшуватись і через це загальний час подорожі зростає, проте, це не означає, що автомобілі зовсім зупиняються. Тобто, використовуючи такого роду необроблені дані, модель починає автоматично підлаштовувати мінімальну швидкість руху.

Така саморегуляція на перший погляд може видатись достатньо логічною, але, в такому випадку, ця гранична швидкість може встановлюватись на таких рівнях, що дані, отримані за допомогою моделі будуть не адекватні або ж просто непорівнянні з іншими. Немаловажливою є друга теза про порівняність результатів, адже, навіть якщо теоретично таку модель можна відкорегувати і вважати дієспроможною, то порівнювати результати, отримані на різних ділянках ВДМ буде, як мінімум, неправильно.

Для вирішення цієї проблеми було вирішено зробити деяку кількість натуральних замірів і, на основі отриманих даних класичної моделі, скорегувати зібрані раніше дані та саму модель. Після аналізу отриманих значень була підібрана деяка функція (2.10), після дії якої отримані дані наближаються до еталонних значень (2.9).

$$RT = RT' \cdot (e^{\varepsilon} - \varepsilon) \quad (2.9)$$

$$\varepsilon = \frac{TT - RT'}{TT} \quad (2.10)$$

Така модифікація даних (або ж самої моделі) дозволяє проводити аналіз характеристик транспортних потоків міста, взявши за основу загальнодоступні кожному користувачеві Інтернету дані.

Також проводились так звані натуральні заміри, шляхом спостережень за часом руху та кількістю агентів потоку, визначалися час у русі та час у дорозі для спеціального транспорту та кількісне співвідношення типів агентів потоку.

Як вже наголошувалось раніше, аналіз транспортних потоків міста, оцінка

їх характеристик безпосередньо веде до результатів стану транспортної мережі. Основним показником, обраної за основу моделі, є індикатор еластичності. Аналіз дає змогу зрозуміти проблеми мережі та вжити заходи щодо їх ліквідації. Однак, до цього моменту проблемати розглядалась лише з боку проектування ВДМ. Однак, вирішення проблем такого роду вимагає системного підходу і всебічного вивчення.

Так, немаловажливим є система громадського транспорту, яка має поглинати основний об'єм людського потоку в години пік, і зменшувати автомобілізацію населення міста, особливо такого як Київ. Адже не секрет, що більшість районів, забудованих за часів СРСР не були спланованими для використання такої великої кількості авто, яка є сьогодні, а нові висотні будівлі далеко не завжди проектується з достатньою кількістю паркувальних місць та під'їздних шляхів. Ті ж проблеми виникають не лише в межах спальних районів. Центральні райони та райони, в яких сконцентровані офісні центри, нажаль, не обладнані для прийому наявної кількості авто людей, що прибувають на роботу. Наслідком цього є блокування частини автошляху, що зменшує швидкість транспортного потоку, це заважає вільному проїзду громадського транспорту та велосипедистів.

У країнах, де це питання вивчається багато років і вже досягнуто важливих результатів (яскравим прикладом є іспанський мегаполіс Барселона), робиться акцент саме на розвитку громадського транспорту, звільнення руху для велосипедистів та пішоходів. У цьому параграфі будуть розглянуті приклади насущних проблем Києва, пов'язаних з соціальними аспектами життя міста а також приклади їх розв'язання у сучасних містах, що стоять на передовій урбаністичного розвитку.

Рівень автомобілізації населення розраховується з показника середньої кількості індивідуальних легкових автомобілів, що припадають на 1000 жителів. Важливість такого показника, як рівень автомобілізації, для міського транспортного планування важко переоцінити. При чому, важливо розуміти, що мова йде не про формально зареєстровані в місті транспортні засоби, а про ті, до

яких городяни реально мають доступ.

В ході роботи над створенням транспортної моделі міста Києва, фахівцями компанії A+S, в ході аналізу масштабного соціологічного дослідження, встановили, що рівень автомобілізації для Києва на 2015 рік становить приблизно 213 автомобілів на 1000 жителів. Це вище, ніж середньоукраїнський показник, який становить 148 автомобілів на 1000 жителів, за даними на 2012 рік.

Для порівняння, рівень автомобілізації Гонконгу становить 59 автомобілів на 1000 жителів, Стамбула - 139, Нью-Йорка - 209, Москви - 297, Берліна - 317, Лондона - 345, Сан Пауло - 368 автомобілів на 1000 жителів.

Раніше вважалося, що рівень автомобілізації в Києві становить близько 345 автомобілів на 1000 жителів. Таке число виходило, мабуть, виходячи з відношення кількості офіційно зареєстрованих автомобілів до офіційно зареєстрованим городянам. Однак, дані соціологічного дослідження викликають більшу довіру, так як включають вибірку з усього населення міста (в т.ч. офіційно незареєстрованої), а також враховує тільки ті транспортні засоби, які знаходяться в реальному розпорядженні кожного з опитаних домогосподарств.

Всього в опитаних домогосподарствах було зафіксовано 18025 автомобілів. Кількість людей в цих домогосподарствах склала 84609 чоловік. Середня кількість людей в домогосподарстві - 2,9 осіб. В середньому це 0,213 автомобіля на людину [16].

Рівень автомобілізації населення вважається одним з важливих показників добробуту населення: чим вищий рівень добробуту людей, тим більша ймовірність придбання ними автомобілів.

До негативних наслідків автомобілізації відносяться забруднення повітря і землі уздовж автомагістралей, шумове забруднення міській та приміській середовища, збільшується число автомобільних аварій і їх жертв, а також посилення залежності життя суспільства від негативних наслідків автомобілізації, хоча ступінь свободи вибору при пересуванні у власному автомобілі значно вище, ніж в громадському пасажирському транспорті [4].

Влада Барселони розробила стратегію, яка дозволить звільнити для

пішоходів до 60% вулиць, де в даний час їздять автомобілі і громадський транспорт. Також нова програма допоможе скоротити щільність трафіку на 21%, зменшити забруднення навколишнього середовища і зробити місто більш «зеленим». Приводом до перегляду існуючої ситуації став стан здоров'я жителів столиці Каталонії. Агломерація Барселони постійно «провалює» тести ЄС на чистоту повітря, і його низька якість викликає 3 500 передчасних смертей на рік, вважають фахівці (всього у Великій Барселоні живуть 3,2 млн людей).

Новий план буде заснований на системі так званих суперкварталів (superilles) розміром 400х400 метрів, а випробувальним майданчиком стане знаменитий своєю регулярним плануванням район Ешампле: кожен суперквартал тут об'єднає дев'ять нині існуючих кварталів. Рух для особистого і громадського транспорту дозволять лише по периметру кварталу-гіганта, а по проїздах всередині нього зможуть їздити тільки люди, проживаючі там, з обмеженням швидкості до 10 км/год (зараз, як правило, дозволена швидкість становить 30-50 км/год). Кожен суперквартал буде розрахований на 5-6 тис. Жителів, а внутрішні вулиці з майже зниклим автотранспортом стануть просторами для спілкування, відпочинку, «сусідських» свят та інших заходів.

Також відомо, що в районі суперкварталів додатково з'явиться 300 км нових велодоріжок (зараз в Барселоні їх загальна протяжність - близько 100 км). Влада розраховує, що протягом двох років після старту програми використання особистих машин зменшиться на 21%, і городяни будуть більше переміщатися пішки, на велосипеді і на громадському транспорті. «Особистий автотранспорт складає лише 20% від загального трафіку, але займає все 60% доріг,» - пояснює член міської ради з екології, урбанізації та мобільності Жанет Санз.

Реалізація починається зі зміни дорожніх знаків і автобусних маршрутів. Влада міста вже ввела «прямокутну» автобусну мережу, де автобуси ходять тільки по ряду основних магістралей, зате кожен житель живе на відстані в 300 метрів від зупинки. Очікується, що завдяки цьому рішенню середній час очікування транспорту скоротиться з 14 до 5 хвилин, а їздити по місту на будь-яку відстань в 95% випадків можна буде без пересадок [\[5\]](#).

Звичайно, геодезичні особливості розташування Києва не можуть дати змогу перейняти досвід столиці Каталонії один-в-один, проте, окремі впровадження можуть бути достатньо ефективно застосовані на практиці і в інших містах світу.

Висновки до розділу

В даному розділі було розглянуто типи зібраних даних та їх модифікації для роботи з обраної моделю оцінки характеристик поведінки транспортних потоків. Слід зазначити та навіть наголосити на тому, що усі дані, використані у роботі були зібрані в мережі Інтернет з відкритих ресурсів, які дозволяють будь-кому отримувати, а іноді і змінювати та корегувати дані, внесені іншими користувачами.

Насьогодні питання таких ресурсів вкрай важливе та популярне, тому як це є важілями контролю багатьох установ, в тому числі і державних інститутів. Такий підхід до збору даних був принципово обраний на самому початку роботи над визначеною проблемою.

Даний етап займає більшу частину часу, проведеного над роботою, адже далеко не всі вони отримуються автоматизовано і потребують ручної обробки. Однак, як виявилось, некоректно зібрані або оброблені дані можуть зруйнувати роботи навіть дуже найдійної і широковживаної універсальної моделі. Тому до цього питання було поставлено серйозно та відповідально.

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ НАВАНТАЖЕННЯ ТА ПРОБЛЕМ ВДМ І ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ

3.1 Характеристик поведінки транспортних потоків у години пік

Класична модель аналізу транспортного навантаження на ВДМ видає досить зручні та змістовні результати та характеристики поведінки потоків. Проте, такі дані дають змогу оцінювати лише моментальні випадки. Втім, при роботі з міською мережею автодоріг виникає логічна потреба оцінки тих самих параметрів впродовж деякого інтервалу часу.

Для цього шляхом візуального спостереження та використання оцінок ресурсів, що зайсаються оцінками стану було визначено період часу післяобіднього часу пік. Був обраний період з 9 по 11 години як одними за найбільшою інтенсивністю руху.

За результатами спостережень було помічено, що в середньому автомобіль, який рухається за одним з обраних для аналізу маршрутів, витрачає на шлях час у межах від 40 до 60 хвилин.

Самі заміри даних робились кожні 20 хвилин, тобто на виході отримали часовий ряд зі значеннями у 7 моментах часу. Тобто, для того щоб проаналізувати характеристики поведінки потоку для середньостатистичного маршруту руху, необхідно використовувати 3 моменти з часового ряду, які в сумі дадуть 60 хвилин. Для самого моделювання, на практиці, виявилось, що найкраще усереднювати дані, при чому простим способом – лінійним усередненням, тобто діленням на 3. Це зручно, по-перше, тому що отримані з такої моделі характеристики, можна порівняти з результатами роботи класичної моделі, адже вхідні дані не відрізняються суттєво за порядком значення. По-друге, такий простий спосіб усереднення залишає характеристики кожного моменту часу, що є важливим за загальною логікою такої моделі. І по-третє, у концепції поділу транспортного потоку, яка вимагає підрахунку кількості транспорту кожного виду, це дає можливість підрахувати його більш глобально (усереднюючи

показники, аномальні стрибки показників).

Отже, для аналізу характеристик транспортної мережі (і, таким чином і транспортних потоків) у години пік, будемо використовувати наступну модель:

$$\ln \left(\sum_{i=0}^2 \frac{RT(n-i)}{3} \right) = k \cdot \ln \left(\sum_{i=0}^2 \frac{TT(n-i)}{3} \right) + b \quad (3.1)$$

У самому програмному продукті, як показано на (рис. 3.1 – 3.2) обробка аналіз та візуалізація даних відбувається на окремих ітераціях і однаково на виході користувач має результати оцінених показників, графіки з візуалізацією даних. Для випадку з аналізом одного моменту часу це два графіки і результати – з оригінальними зібраними даними, та з обробленими. А для випадку з аналізом протягом усієї години пік – чотири результати такої форми.

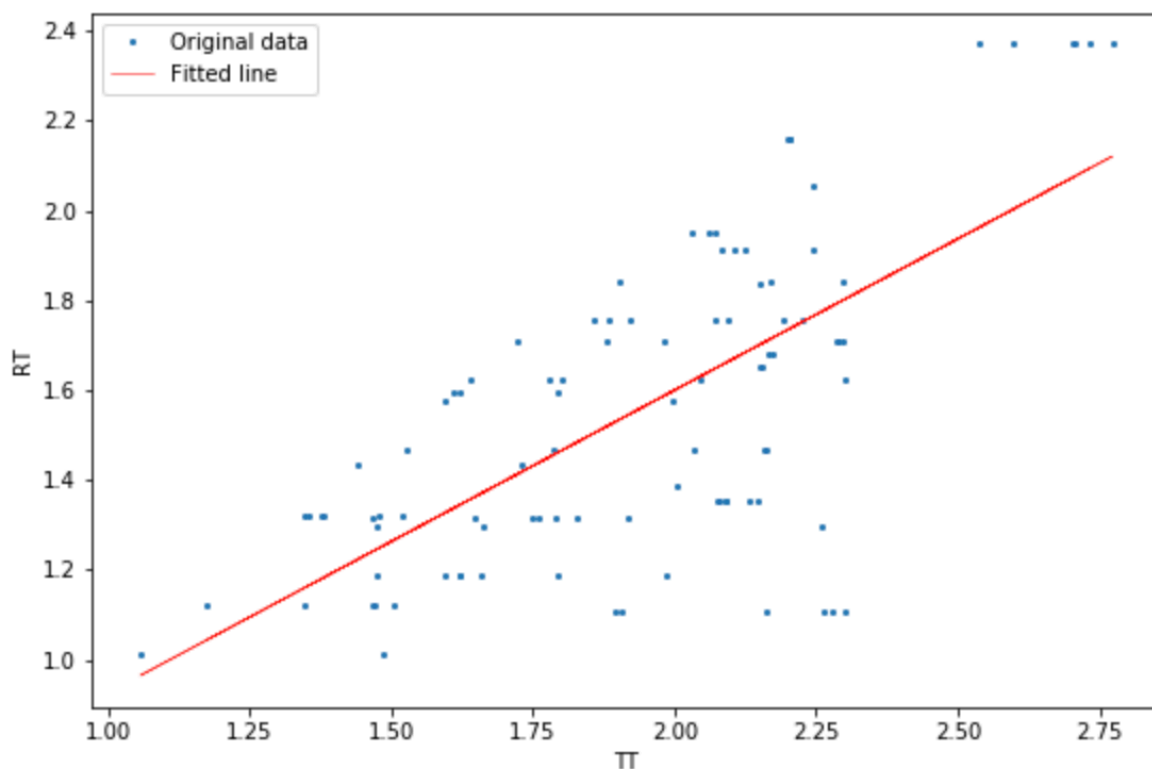


Рисунок 3.1 – Візуалізація оригінальних даних

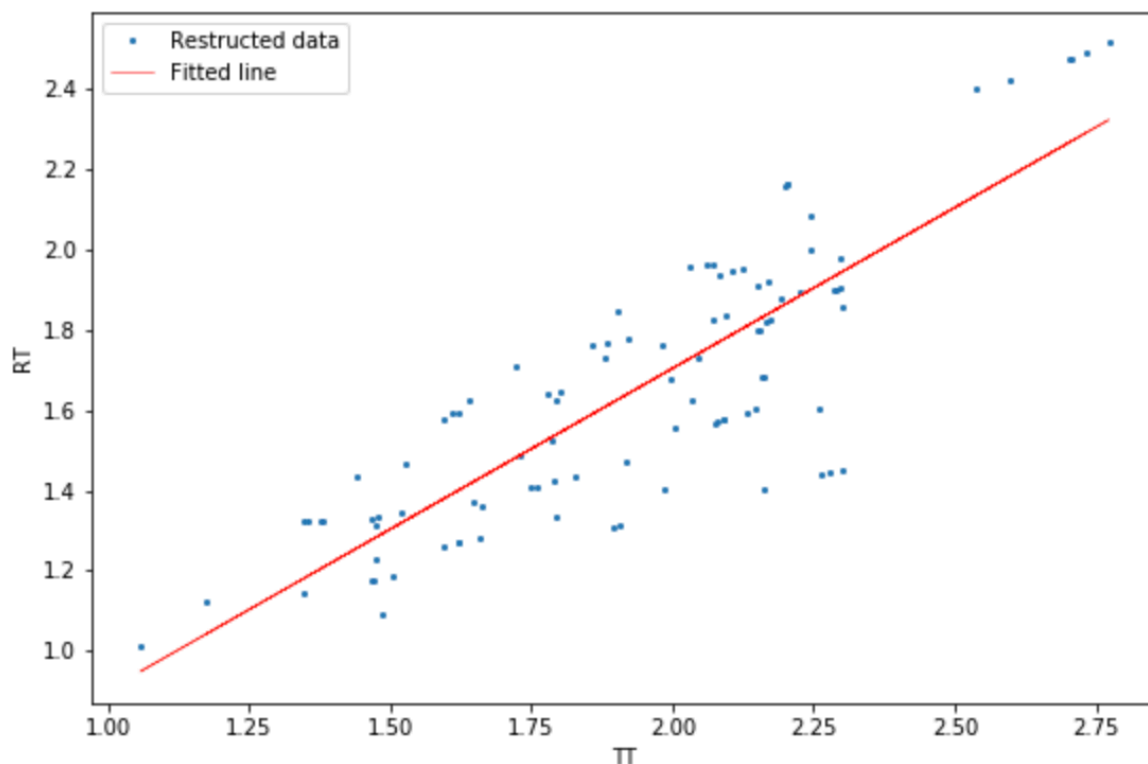


Рисунок 3.2 – Візуалізація перетворених даних

В програму може завантажуватись будь-яка таблиця з даними означеного формату. Наприклад, дані зібрані у якомусь конкретному районі, або на обраному типі дороги, інше.

Саме тепер на цьому етапі можливо візуалізувати різницю між використанням класичної моделі та варіанту, що був запропонований раніше. Результати моделювання, тобто параметри еластичності, що виводяться у таблицю, дають зрозуміти переваги модернізації моделі (даних). Справа в тому, що при роботі з класичним варіантом моделі автори зазначали, що значення індикатору еластичності знаходиться в проміжку від 0,4 до 3,6. Якщо показник досягає значень близьких до 1 і нижче, характеристики поведінки потоку вважаються відмінними, а сама ВДМ дуже вдалою та спроможною справлятися з достатньо великими навантаженнями в години пік. Однак, дані, що були використані для моделювання в конкретних прикладах, збирались під час досить великого навантаження з візуально незадовільною пропускнуою можливістю мережі. Тобто, підтверджується теорія, що початкові дані без попередньої

обробки не дають адекватних оцінок характеристик.

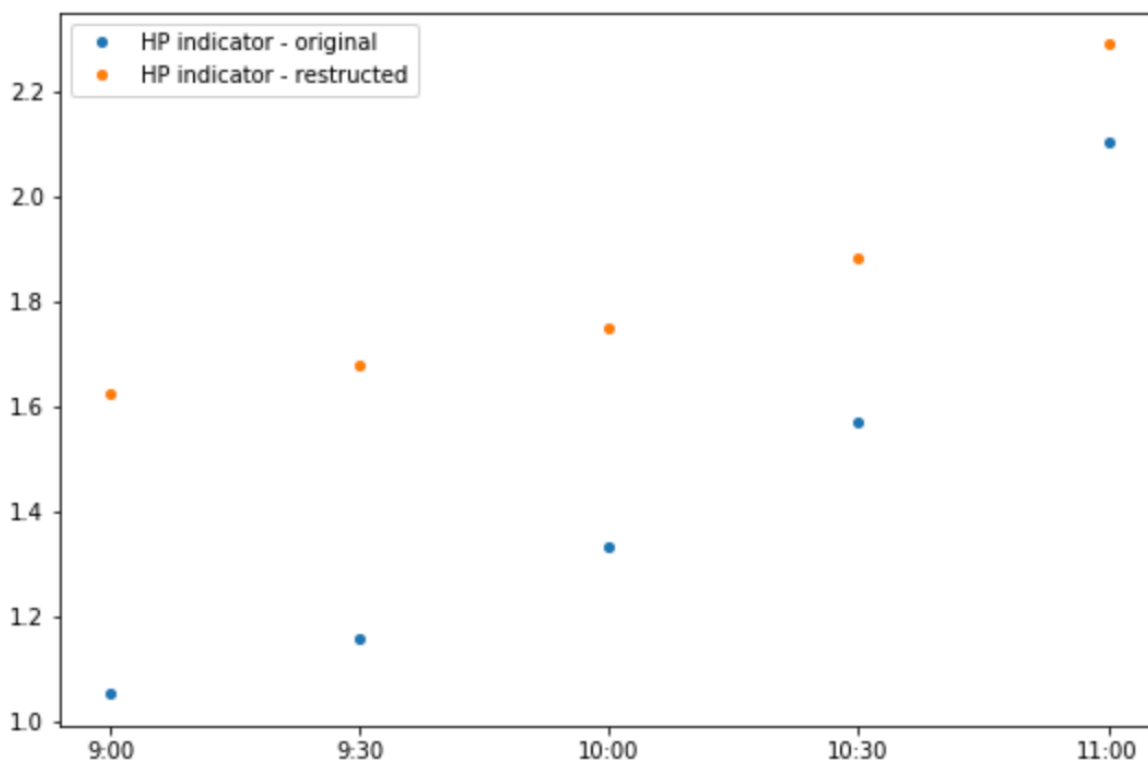


Рисунок 3.3 – Порівняння результатів оцінки впродовж пікових навантажень з використанням оригінальних та перетворених даних

3.2 Зв'язок макроскопічних характеристик потоку і проблем моделей мікроскопічного рівня

Інша проблема, також частково соціального характеру, що підштовхнув до реалізації другого режиму роботи програми, з'являється на вулицях міста щодня і її, нажаль, може помітити кожен, хто навіть просто виходить з дому і не користується автомобілем. Мова йде про невеликі локальні явища, які в масштабах мережі, якою рухається транспортний потік, можуть здатися незначними, проте спричинити досить помітні та, навіть, критичні ситуації для руху транспорту.

Такими явищами можуть бути автомобіль, що з технічних причин не має змоги рухатися зайнятою ним смугою руху (звичайно, що не є проблемою проектування), недостатня пропускна спроможність транспортної розв'язки (з'їзди та виїзди, що сполучають магістралі), автомобілі, що припарковані біля узбіччя, але не дають змоги рухатися крайньою правою смугою руху (що є особливо критичним для громадського транспорту) та таке інше. Іноді такі явища комбінуються, особливо часто це відбувається у важливих транспортних вузлах транспортної мережі, де сполучаються декілька гілок транспорту, що веде за собою поширення інфраструктури та нагромадження будівель, які сповільнюють рух людей. Також останній факт веде до того, що об'єкти торгівлі регулярно потребують підвозу продуктів та товарів для реалізації.

Так чи інакше, перелічені приклади вже з'являлися в різних містах раніше і, тому, існують варіанти їх рішення. В даному параграфі будуть розглянуті деякі приклади саме таких ситуацій, варіанти їх вирішення та результати оцінювання характеристик після теоретичного виправлення проблемних ділянок (рис. 3.5-3.7).

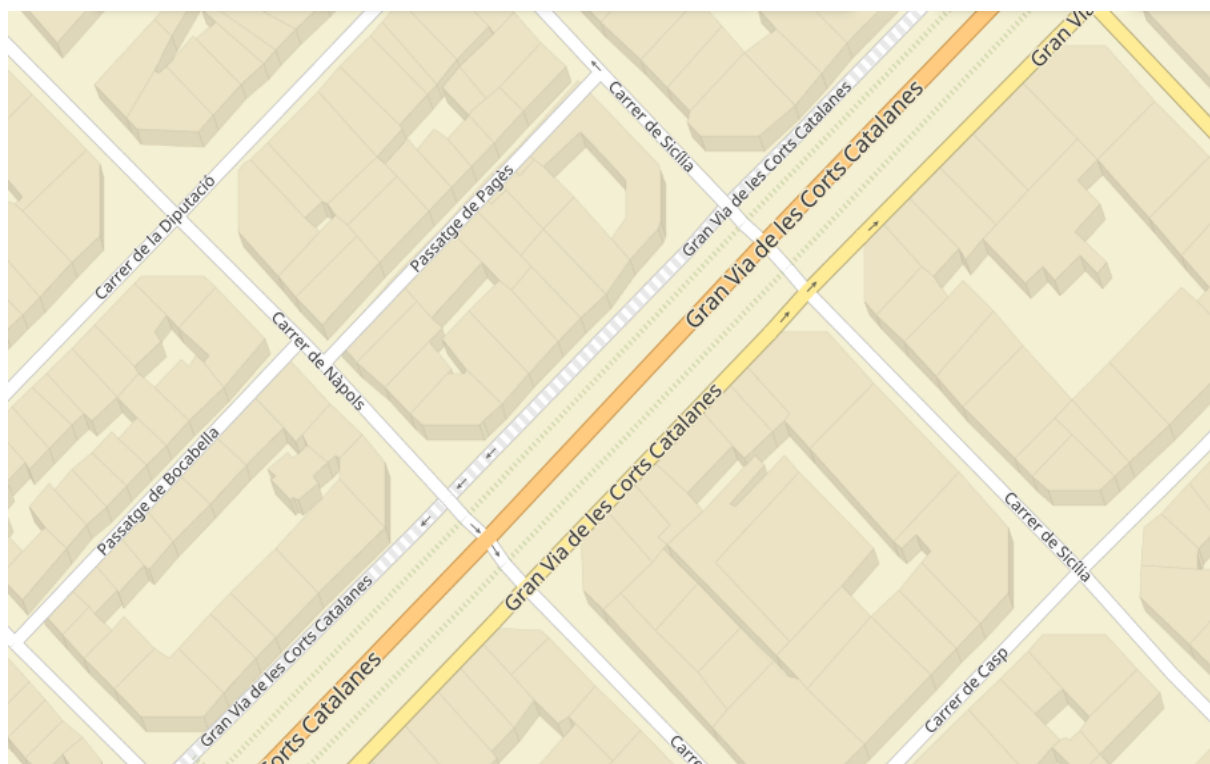


Рисунок 3.6 – Планування проспекту в Барселоні



Рисунок 3.7 – Паркування правої крайньої смуги та зупинка транспорту

Яскравим прикладом описаних ситуацій є ілюстрація на рисунку 3.6, на якому можна побачити, що запарковані у праому крайньому ряду авто гальмують потік, що рухається вверх по схилу, що ще більше погіршує ситуацію. Такий стан справ обмежує доступ громадського транспорту до зупинки, що веде до блокування одразу двох смуг руху, викликає критичний стан для руху велосипедистів.

Описана проблема дуже вдало була вирішена в столиці Каталонії, де великі проспекти з інтенсивним рухом та значною кількістю автомобілей, що теоретично можуть бути припарковані, розділили на дві частини: для руху основного транспортного потоку та автомобілей, які паркуються/виїжджають на основну частину дороги. У таких «кишенях» також розташовані зупинки громадського транспорту, заїзди до підземних паркінгів та власне паркувальні місця.

Фактично, проектувальники відділили один від одного два потоки транспорту з різними швидкостями, що позитивно вплинуло на поведінку потоку з більшою швидкістю, який має змогу без проблем рухатися з обраним швидкісним режимом.

Теоретично, більшість магістральних шляхів Києва мають потенціал для аналогічного перетворення. Значна частина тротуарів може бути задіяна в якості «кишень» для транспорту з невеликою швидкістю паркування. Невеликим буфером між цією ділянкою та основною частиною магістралі може виступати ділянка тротуару, де знаходяться дерева (рис 3.6).

Прикладом такої ділянки, яка може бути модернізована таким чином, є Повітрофлотський проспект, де значна частина тротуарів не використовується регулярно, а їх ширина дозволяє розширити проїжджу частину в такому стилі (рис. 3.8).



Рисунок 3.8 – Повітрофлотський проспект. Ширина тротуарів дорівнює ширині проїжджої частини

Неоднозначною є ситуація і зі смугами громадського транспорту. Наразі вони додані на вже існуючих і давно спроектованих автошляхах, та такий підхід без модернізації дороги є достатньо сумнівним. Для прикладу можна привести проспект Валерія Лобановського, на якому в обох напрямках руху виділено смуги для громадського транспорту, що зменшує кількість смуг для інших учасників руху з трьох до двох і під час пікових навантажень сильно гальмує рух (оскільки, як вже було показано раніше основу потоку складає саме особистий транспорт). Вирішенням цієї проблеми могло б стати зменшення ширини смуги (такий підхід є нормальною практикою для сучасних міст Європи [13]), що дасть змогу додати ще одну, реверсну смугу руху. Напрямок руху на смузі змінювався б в залежності від часу доби і вектору пікових навантажень.

3.3 Порівняльний аналіз результатів макроскопічного моделювання

Після проведених експериментів важливо порівняти, проаналізувати отримані за різних експериментів результати, зробити висновки. Для початку буде доцільно навести результати оцінювання якості ВДМ Києва звичайною моделлю, модернізованою для використання зібраних даних, та ті ж самі показники в інших містах світу, зібрані в різних дослідженнях [8].

У таблиці 3.1 в порядку зменшення значення індикатора еластичності розміщені дані, отримані в рамках даної роботи у Києві, та з інших міст за минулі роки [8].

Таблиця 3.1 – Порівняльна таблиця результатів розрахунку індикатора еластичності

Місто	Район	Час доби	Рік	Значення
Москва	МКАД	Протягом дня	2008	3,619
Лондон	Центр	Протягом дня	1982	3,02
Брюссель	Центр	Протягом дня	1982	2,76
Київ	Центр	Вечір	2018	2,19
Київ	ВДМ	Вечір	2018	1,67
Київ	Магістралі	Вечір	2018	1,49
Москва	ВДМ	Протягом дня	2008	1,428
Київ	Центр	Ранок	2018	1,4
Далас	Центр	Протягом дня	2003	1,35
Київ	Магістралі	Ранок	2018	1,33
Москва	Центр	Протягом дня	2008	1,253
Сеул	Центр	Вечір	2005	1,058
Х'юстон	Магістралі	Протягом дня	1982	0,8
Орlando	Магістралі	Ранок	2008	0,79
Сеул	Центр	Ранок	2005	0,718
Орlando	Магістралі	Протягом дня	2008	0,63

Аналізуючи результати, можна зробити висновок, що, як і очікувалось, гірші показники спостерігаються під час вечірнього збільшення інтенсивності руху на дорогах. Це легко пояснити тим, що вечірня година пік більш коротша та виразніша за своїми ознаками. Навідміну від ранкових переміщень, які розтягуються в часі через різні графіки роботи та навчання (починаючи з 8.30 і закінчуючи 11.00), вечірні мають тенденцію з'являтися більш стрімко (проміжок між 18 та 20 годинами), адже більшість закінчує роботу та інші справи приблизно вв цей час.

Наступними буде доцільно продемонструвати результати, отримані за допомогою моделі, що включає вв себе ієрархічні залежності системи та

порівняти їх зі звичайною модернізованою моделлю. В таблиці 3.2 подано результати аналізу по місту Києву.

Таблиця 3.2 – Результати отримані на двох варіантах моделі

Залежність	Час доби	Значення звичайної моделі	Значення ієрархічної моделі
Центр	Ранок	1,4	1,47
Середня зона	Ранок	1,35	1,37
Периферія	Ранок	1,3	1,38
Магістраль	Ранок	1,33	1,3
З виділеною смугою	Ранок	1,36	1,48
Центр	Вечір	2,19	2,21
Середня зона	Вечір	2	2,1
Периферія	Вечір	1,6	1,7
Магістраль	Вечір	1,71	1,66
З виділеною смугою	Вечір	1,88	2,05
ВДМ	Ранок	1,59	1,5
ВДМ	Вечір	1,67	1,58

Висновки до розділу

В даному розділі було розглянуто основні проблеми в мікроскопічних масштабах та порівняно результати, отримані на двох моделях – класичної та модифікованої. Тобто, ті факти, що викривають, на перший погляд, незначні недоліки проектування та використання ВДМ. Але існування декількох таких проблемних точок на одній ділянці шляху може суттєво погіршити характеристики потоку.

Такі проблеми є широко поширеними і методи боротьби з ними відомі. Звичайно, не можна відкидати і соціальний аспект проектування мереж. Так, прикладом для наслідування було обрано Барселону, місто, де вже досить давно рекламують рух широкою системою громадського транспорту, велосипедами.

Іншими словами, такі проблеми, вирішення яких переплануванням ділянок доріг вимагає досить значних грошових ресурсів, можуть бути частково вирішені також шляхом зменшення загальної кількості автомобілей, які потенціально можуть бути припарковані в даному районі або їх перерозподілення.

Щодо результатів вимірювань за допомогою представлених моделей, чітко прослідковується зміна показника в гірший бік на більш завантажених ділянках ВДМ та у кращий бік (менші значення) на магістральних шляхопроводах та на ВДМ в цілому. Це можна пояснити компенсацією недоліків класичної моделі, а саме усереднення усіх значень, чого у ієрархічному представленні вдається уникнути.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Інформаційна карта проекту

Як стартап-проект запропоновано мобільний додаток “Open Cycle” (табл. 4.1), який орієнтований на жителів міста і має на меті популяризувати використання велотранспорту у місті і, як наслідок, покращувати ситуацію з переміщенням пасажирів всередині міста.

Таблиця 4.1 - Загальні відомості про стартап-проект

1. Назва проекту	Open cycling
2. Автори проекту	Атаманчук Олексій Степанович
3. Коротка анотація	<p>Мобільний додаток для менеджменту велоподорожей.</p> <p>Функціонал:</p> <ul style="list-style-type: none"> - запис поїздок, використовуючи GPS дані користувача, можливість будувати та переглядати аналітику з історії подорожей; - передбачення поїздок, темпу, навантаження та медіа на основі історичних даних користувача, завчасне оповіщення з запропонованим маршрутом та місцем призначення; - можливість ділитися своїми досягненнями з друзями і долучати їх до своїх активностей; - використання відкритих карт OSM та історичних даних інших авторитетних користувачів додатку для побудови найоптимальнішого маршруту в місці вашого перебування.
4. Термін реалізації проекту	10 місяців

Продовження таблиці 4.1.

5. Необхідні ресурси	<p>1. Команда інженерів:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Big Data Engineer; - iOS Engineer; - Android Engineer; - Software BE Engineer; - QA Engineer; - Product manager. <p>2. Фінансові ресурси: \$70000</p> <p>3. Матеріальні ресурси:</p> <ul style="list-style-type: none"> - офісне приміщення; - 4 ноутбуки HP ProBook; - 3 ноутбуки MacBook; - 3 велосипеди; - 3 комплекти захисного спорядження для велосипедистів; - 7 смартфонів на базі ОС iOS; - 7 смартфонів на базі ОС Android; - 4 фітнес-браслета; - 2 смарт годинника Apple; - 60 BLE Beacon пристроїв; - 15 смартфон холдерів для велосипедів.
6. Опис проблеми, яку вирішує проект	<p>Навігація при їзді на велосипеді, менеджмент поїздки та фізичних навантажень. Недостатня адаптованість міст України для велосипедних подорожей.</p> <p>Недостатній розвиток велосипедного руху і замале використання велосипеда як одного з основних видів транспорту у місті.</p>

Продовження таблиці 4.1.

7. Головні цілі та завдання проекту	<ul style="list-style-type: none"> - вирішення завдань навігації та менеджменту велопоїздок; - популяризація велосипедного транспорту у місті; - вирішення завдань навігації в умовах неадаптованості українських міст.
8. Очікувані результати	<ul style="list-style-type: none"> - збільшення користувачів велосипедного транспорту у містах; - популяризація велосипедного транспорту у місті; - розвиток велоінфраструктури.

4.2 Команда стартап-проекту

Розглянемо команду, яка буде реалізовувати проект (див. табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – команда стартап-проекту

Посада	Функціональні обов'язки	Роль
Керівник проекту	Пошук інвесторів, керування компанією та проект	Генератор ідей, координатор, експерт
Big Data Engineer	Зберігання, обробка та аналіз великих об'ємів даних і побудова моделей на їх основі	Спеціаліст, виконавець, дослідник
Software BE Engineer	Розробка серверної інфраструктури, сервісів що обслуговують клієнтську частину проекту	Спеціаліст, виконавець

Продовження таблиці 4.2.

iOS Engineer	Розробка клієнтської частини на базі операційної системи Android	Спеціаліст, виконавець
Android Engineer	Розробка клієнтської частини на базі операційної системи iOS	Спеціаліст, виконавець
Product Manager	Генерація ідей, пошук напрямків розвитку	Генератор ідей, координатор, творець
QA Engineer	Забезпечення якості продукту та дотримання процесів розробки	Спеціаліст, виконавець, дослідник

4.3 Бізнес-модель Canvas проекту

Проаналізуємо обраний проект за допомогою Canvas моделі, що дасть змогу оцінити як продукт взаємодіє з головними аспектами ринку. Діяльність планується розвертати в основному навколо ідеї розповсюдження базової версії мобільного додатку, продажу виробникам велосипедів та комплектуючих інтегрованої з їх продуктами його версії, залучення інвестицій від донорів та співпраця з муніципальними владами міст (табл. 4.3), які мають бути зацікавлені у збільшенні використання велотранспорту у власних містах.

Також в таблиці 4.3 описуються основні потоки надходження доходів, структура витрат, як буде проходити взаємодія з клієнтами, хто вони є та як продукт має до них надходити.

Таблиця 4.3 – Бізнес-модель Canvas проекту

Ключові партнери: Виробники велосипедів та комплектуючих, муніципальні влади міст	Ключові види діяльності: Розробка моделей навчання на даних користувачів та мобільного додатку	Ціннісні пропозиції: Інтуїтивна помічна програма, що спрощує щоденне життя	Взаємовідносини з клієнтами: Служба підтримки та супроводження продукту	Споживчі сегменти: Активний сегмент жителів міста, виробники та продавці велосипедів та комплектуючих
	Ключові ресурси: Команда розробників і технічне забезпечення		Канали збуту: Відкриті канали збуту Apple та Google, виставки	
Структура витрат: Оренда офісу, серверних потужностей, закупівля обладнання, зарплатня			Потоки надходження доходу: Монетизація кінцевого продукту (мобільного додатку) та співпраця з партнерами та інвесторами	

4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Для планування розвитку проекту та оцінки потенційної можливості його виходу на ринок необхідно, проаналізувавши ринок, визначити його можливості, які вподальшому будуть використані для розвитку продукту, та загрози, що

можуть цьому перешкодити. У таблиці 4.4 наведено основні характеристики ринку.

Таблиця 4.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	\$60000000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	25%

За результатами аналізу наведених характеристик робиться заключення, чи доцільно входити на такий ринок.

Тепер можна сформулювати групи клієнтів зі своїми ознаками та характеристиками для того щоб означити вимоги для продукту (табл. 4.5).

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 4.6-4.7).

Оскільки співробітництво з виробниками велосипедів та косплектуючих для них є непрямим контактом з кінцевим споживачем, то комунікація з цими двома типами клієнтів має відрізнятись. Тобто, колаборації з виробниками мають бути підлаштованими під їх вимоги, максимально розкриваючи потенціал продукту. Іншими словами необхідно знаходити компроміс між тим баченням, яке є у замовника та ідеологією, концепцією, що виображає бачення компанії.

Теж саме стосується співробітництва з міськими владами і громадами – продукт має гармонійно вливатись у новий проект, чітко зберігаючи свої функції.

Таблиця 4.5 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Потреба у інструменті що б поліпшував щоденне життя велосипедисті в у місті	Середній клас, молоді люди, що проживають у великих містах	В залежності від віку та місця проживання користувачі будуть більш та менш активно використовувати додаток. Також можна побачити специфічні запити кожної з груп.	Інтуїтивність, простота та персоналізація отриманих результатів

Таблиця 4.6 - Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Обвал ринку	Крах економіки	Прискорений перехід на іноземні ринки
2	Зміна потреб користувачів	Користувачам необхідне програмне забезпечення з іншим функціоналом	Розширення функціональних можливостей додатку.

Таблиця 4.7 - Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Співробітництво з виробниками	Колаборації та спеціальні розробки із конкретними виробниками велосипедів та приладдя	Нарощування потужностей
2	Співробітництво з міськими владами і громадами	Співробітництво та просування продукту у ключі велосипедного руху	Нарощування потужностей та маркетингу

Наступним кроком визначається та описується конкуренція на ринку (табл. 4.8).

Таблиця 4.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Монополістична конкуренція	Кожен з потенційних конкурентів є монополістом з огляду на деякі характеристики	Комбінування кращого та перекривання недоліків конкурентів
2. Національний та міжнародний рівні конкурентної боротьби	Початок на національному ринку, потенційно зовнішній	Глобалізація та локалізація продукту.

Продовження таблиці 4.8.

3. Внутрішньогалузева	Мова йде про конкретну нішу використання велосипедів у місті	Використання специфіки галузі для задоволення попиту
4. Конкуренція за товарно-родовим видом товарів	Товари між собою відрізняються функціональним направленням	Баланс між оптимальною кількістю необхідного функціоналу та повним задоволенням потреб.
5. Нецінова конкурентна перевага	Безкоштовні продукти	Грамотний етап продажу проектів, доставка платних функціональностей
6. Марочна	Зазвичай користувач кардинально відрізняє для себе конкурентів як окремі бренди, марки	Створення свого унікального бренду.

Також аналіз конкуренції в галузі проводиться за М. Портером (табл. 4.9). Можна проаналізувати результати і зробити висновки, що прямих конкурентів немає взагалі, оскільки в точності запропонований функціонал не реалізовує жоден з конкурентів. Натомість вони покривають потенційний ринок частково у різних його частинах. Так Google надає функціонал з хмарними обчисленнями, аналізом історичних даних і створенням передбачень, а Maps.Me – надає можливість використовувати карти з відкритих ресурсів – OpenStreetMaps, що відкриває великі перспективи.

Таблиця 4.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари на заміну
	Немає	Google Maps, Maps.Me	Не мають сили	Клієнт на першому місці	Немає
Висновки	-	Вже давно на ринку, але не мають подібного функціоналу	У разі проблем з постачанням компонентів, вони можуть бути спроектовані та зібрані всередині компанії	Орієнтація на дизайн та вподобання користувачі в	-

За результатами аналізу таблиці робиться висновок щодо принципової можливості роботи на ринку з огляду на конкурентну ситуацію. Також робиться висновок щодо характеристик (сильних сторін), які повинен мати проект, щоб бути конкурентоспроможним на ринку. Другий висновок враховується при формулюванні переліку факторів конкурентоспроможності (табл. 4.10).

За визначеними факторами конкурентоспроможності можна провести аналіз сильних та слабких сторін продукту. Дані по аналізу наведено у таблиці 4.11. Варто зазначити, що фактично продукт немає точних конкурентів на ринку, тому це є основним і визначальним фактором, адже без конкурентів досягається максимальна конкурентоспроможність.

Таблиця 4.10 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Надання унікальних можливостей та функціоналу для користувача. Прямих конкурентів немає	-
2	Новий інтуїтивний дизайн	Виконання обробки даних користувачів і побудова на цій основі дизайн-орієнтованого продукту
3	Технічна підтримка	Супроводження продукту і інфраструктури рішення для замовників
4	Якість результатів	Специфічний збір, обробка та використання даних дає максимальну якість результатів

Таблиця 4.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-4	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з СПСМ						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Унікальний функціонал	3	+						
2	Інтуїтивний дизайн	3						+	
3	Технічна підтримка	2		+					
4	Якість результатів	2				+			

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 4.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 4.11).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Таблиця 4.12 - SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Висока точність обчислень Швидкість роботи Легкість використання Невисока ціна	Слабкі сторони: Невеликий досвід у команди Відсутність знань геолокації у команди Відсутність інвестицій
Можливості: Розповсюдження та популяризація на хвилі інтересу до тематики	Загрози: Споживачі можуть не погодитись купувати продукт Зміняться потреби клієнтів.

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 4.13).

Таблиця 4.13 – альтернативи ринковоо впровадження проекту

№	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Орієнація тільки на кінцевого споживача	Середня	10 місяців
2	Орієнтація тільки на співпарцю з виробниками	Середня	14 місяців

При веденні конкурентної боротьби з використанням обраної стратегії на ринку в першу чергу терплять фіаско фірми, що не здатні визначати потреби цільових ринків, оперативно реагувати на зміни в ринковому попиті, проводити ефективну політику маркетингових комунікацій, не мають необхідних навичок в області брендингу. Найважливішими здібностями, які повинна мати компанія, що приймає цю стратегію, є з генерування маркетингових ноу-хау, здійснення продуктових новацій.

4.5 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 4.14).

Таблиця 4.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Містяни	Висока	Високий	Прямах конкурентів немає	Просто
2	Виробники велосипедів	Середня	Високий	Малорозвинутий сегмент, конкуренції майже немає	В залежності від вимог виробника
3	Міські влади	Середня	Середній	Немає	Можуть виникнути складнощі через бюрократію

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) автори ідеї обирають цільові групи, для яких вони пропонуватимуть свій товар, та визначають стратегію охоплення ринку:

- якщо компанія зосереджується на одному сегменті – вона обирає стратегію концентрованого маркетингу;
- якщо працює із кількома сегментами, розробляючи для них окремо програми ринкового впливу – вона використовує стратегію диференційованого маркетингу;
- якщо компанія працює із всім ринком, пропонуючи стандартизовану програму (включно із характеристиками товару/послуги) – вона використовує масовий маркетинг.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 5.15).

Стратегія диференціації передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів. Така відмінність може базуватися на об'єктивних або суб'єктивних, відчутних і невідчутних властивостях товару(у ширшому розумінні – комплексі маркетингу), бути реальною або уявною. Інструментом реалізації стратегії диференціації є ринкове позиціонування.

Переваги стратегії за Ж.-Ж. Ламбенom:

- по відношенню до прямих конкурентів диференціація знижує ступінь заміності товару, посилює прихильність марці, зменшує чутливість до ціни і тим самим підвищує рентабельність;
- прихильність клієнтів послабляє їх тиск на фірму і перешкоджає приходу на ринок нових конкурентів;
- підвищена рентабельність збільшує стійкість до можливого зростання витрат в результаті дій сильного постачальника;
- відмінні властивості товару і завойована прихильність клієнтів захищають фірму і від товарів-замінників.

Реалізація цієї стратегії вимагає, як правило, більш високих витрат. Проте успішна диференціація дозволяє компанії домогтись більшої рентабельності за рахунок того, що ринок готовий прийняти більш високу ціну (цінову премію бренду).

При веденні конкурентної боротьби з використанням цієї стратегії на ринку в першу чергу терплять фіаско фірми, що не здатні визначати потреби цільових ринків, оперативно реагувати на зміни в ринковому попиті, проводити ефективну політику маркетингових комунікацій, не мають необхідних навичок в області брендингу. Найважливішими здібностями, які повинна мати компанія, що приймає цю стратегію, є з генерування маркетингових ноу-хау, здійснення продуктових новацій.

Таблиця 4.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей	Стратегія диференціації	Більша кількість способів соціальної взаємодії, можливість переходу до безкоштовного типу розповсюдження	Стратегія диференціації

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки.

Стратегія наслідування лідеру.

Компанії, що приймають слідування за лідером – це підприємства з невеликою часткою ринку, які вибирають адаптивну лінію поведінки на ринку, усвідомлюють своє місце на ній і йдуть у фарватері фірм-лідерів. Головна перевага такої стратегії – економія фінансових ресурсів, пов'язаних з необхідністю розширення товарного(галузевого) ринку, постійними інноваціями, витратами на утримання домінуючого положення.

Стратегія наслідування лідеру найчастіше має місце у випадку олігополії, коли кожен конкурент прагне уникнути боротьби, особливо цінової, а також у випадку, коли слабо виражений ефект масштабу, що не дозволяє отримати переваги від об'ємів продажів або ж він не грає істотної ролі. Стратегію наслідування лідеру приймають також фірми, які не змогли реалізувати стратегію виклику лідерові.

Компанії, що приймають таку стратегію, зазвичай випускають товари-імітатори, займаючи ринкову частку, яку з різних причин не можуть охопити фірми лідери. Вибір такої стратегії може також бути обумовлений також перевагою локалізації (краще знання ринку, налагоджені зв'язки з клієнтами тощо).

Для ефективної реалізації цієї стратегії компанії повинні задовольняти наступним основним умовам:

- систематичний аналіз сегментації ринку з метою виділення нових ринкових сегментів або таких, що незадовільно обслуговуються;
- ефективне використання НДДКР з метою вдосконалення технологічних процесів і незначних продуктових новацій;
- концентрація на прибутковості, а не на простому зростанні об'ємів продажів;
- постійний аналіз витрат на всіх стадіях виробництва і логістики;
- залишатися досить малим, щоб не бути досить цікавим для фірм-лідерів;
- сильний керівник, здатний не лише формулювати стратегію, але і тримати усю діяльність компанії під власним контролем.

Якщо врахувати, що лідерами ринку можуть бути лише декілька компаній, то ця стратегія є наймасовішою.

Таблиця 4.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
Так	Частково забирати існуючих	Ні, він буде їх пов'язувати та розширювати, створюючи новий функціонал	Стратегія наслідування лідеру

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту (див. табл. 4.5), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (табл. 4.15) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16) розробляється стратегія позиціонування (табл. 4.17), що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 4.17 – Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Якість	позиціонування за показниками якості	Тестування розробленого продукту та виправлення всіх багів	Стабільність роботи, якість роботи
2	Більша кількість функціональних можливостей	На основі специфічних відчутних характеристик	Розробка більшої кількості оригінальних можливостей	Велика можливостей

Результатом виконання підрозділу має стати узгоджена система рішень щодо ринкової поведінки стартап-компанії, яка визначатиме напрями роботи стартап-компанії на ринку.

Висновки до розділу

Аналізуючи отримані результати можна зробити висновок, що продукт має достатньо великий потенціал і за вірного менеджменту може дати задуманий

ефект на високому рівні, адже є конкурентноспроможним і адаптивним до ринкових змін.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналізуючи проведену роботу та дослідження, можна зробити висновок, що поставлені цілі були успішно досягнуті. Звичайно, деякі аспекти, такі як безпосередній аналіз роботи світлофорного регулювання або громадського транспорту, не були розглянуті через недоступність інформації. Мається на увазі, що готові дані, потрібні для аналізу даних областей не видаються безкоштовно, а їх натуральний збір не під силу одній людині впродовж реального проміжку часу.

Не дивлячись на це, було розглянуто дуже потужну та зручну модель, яку, навіть, вдалося успішно покращити для роботи з загальнодоступними даними. Надалі цей здобуток можна використовувати як складову частину більш широкого та масштабного аналізу транспортної мережі міста.

Тематика роботи є надзвичайно широкою та різноманітною. Так, в ході роботи було проведено збір та подальше успішне використання такої інформації як щільність населення міста у вигляді мапи, проводився збір даних об'єктів інфраструктури. На даний момент розвиваються ресурси, на яких можна збирати та редагувати інформацію стосовно ситуацій на дорогах, стану дорожнього покриття та інше.

Все це означає, що перспективи подальших досліджень досить широкі, починаючи від покращення математичної моделі та її фізичного сенсу, додавання в систему нових аспектів та параметрів для ширшого та ґрунтовнішого аналізу, використання технологій збору даних і збільшення їх об'єму, що потребує деякого тривалого періоду часу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Иносе Х. Управление дорожным движением [Текст] / Х. Иносе, Т. Хамада. - М.: Транспорт, 1983. – 576с.
2. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков [Текст] / Франк Хейт. - М.: Мир, 1966. – 324с.
3. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими [Текст] / Дональд Д. Дрю. - М.: Транспорт, 1972. – 424с.
4. Кармазин Ю. Двумерная модель автомобильных потоков [Текст] / [Ю. Н. Кармазин, М. А. Трапезникова, Б. Н. Четверушкин та ін.] // Матем. моделирование. – 2006. – № 6. – С. 85-95.
5. Гасников А. Введение в математическое моделирование транспортных потоков [Текст] / [А.В. Гасников, С.Л. Кленов, Е.А. Нурминский та ін.] - М.: МФТИ, 2010. – 362с.
6. Осетрін М. Основні принципи створення транспортної моделі міста [Текст] / Осетрін М.М., Беспалов Д.О., Дорош М.І. // Містобудування та територіальне планування. - 2015. - № 57. - С. 309-320.
7. Коефіцієнти добового приведення інтенсивності руху транспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста (на прикладі м. Києва) [Електронний ресурс] / Дмитро Беспалов. – Режим доступу <https://bespalov.me/2018/01/12/koeficijenty-dobovogo-pryvedennja-intensyvnosti-ruhu-transportnyh-potokiv-na-vulychno-dorozhnyj-merezhi-mista-na-prykladi-m-kyjeva/#more-4154>
8. Блинкин М. Качество планирования городских транспортных сетей в зеркале классических моделей теории транспортного потока [Текст] / Михаил Блинкин // Городские исследования и практики. - 2016. - № 1. – С. 55-66.
9. Беспалов Блог [Електронний ресурс] / Дмитрий Беспалов. – Режим доступу <https://bespalov.me/2015/10/06/opredelen-uroven-avtomobilizacii-v-kieve.html>

10. Архитектура России [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://archi.ru/news/69141/barselona-stanet-bolee-peshekhodnoi-na-60procentov.html>
11. Herman R. A two-fluid approach to town traffic [Text] / R. Herman, I. Prigogine // Science. - 1979. - № 4389. - Pp. 148–151.
12. Блинкин М. Пропускная способность и нелинейное оценивание параметров диаграмм «скорость-плотность» [Текст] / Михаил Блинкин // Труды Гипродорнии. - 1981. - № 34. – С. 96–101.
13. Petritsch T. The Influence of Lane Widths on Safety and Capacity: A Summary of the Latest Findings [Электронный ресурс] / Theodore Petritsch - Режим доступа https://nacto.org/docs/usdg/lane_widths_on_safety_and_capacity_petritsch.pdf
14. Якимов М. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов [Текст] / М. Р. Якимов - М.: Логос, 2013. - 188с.
15. Двумерная макроскопическая модель транспортных потоков [Текст] / [А. Б. Сухинова, М. А. Трапезникова, Б. Н. Четверушкин, Н. Г. Чурбанова] // Матем. моделирование. – 2009. – № 2. – С. 118-126.
16. Визначено рівень автотомобілізації в Києві [Електронний ресурс] / Дмитро Беспалов. - Режим доступу <https://bespalov.me/2015/10/06/vyznacheno-riven-avtomobilizacii-v-kyevi/>

ДОДАТОК А ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ

```

import csv
import json
from time import time
from requests import get
from csv import DictWriter
from datetime import datetime

API_KEY = 'AIzaSyC1_omnoZkC-cqg3RIKd-TGRFuQ3oIj_ck'
google_directions_api_base =
'https://maps.googleapis.com/maps/api/directions/json?origin={origin}&destination={destinat
ion}\

&departure_time={departure_time}&traffic_model=best_guess&key={key}'

geodata = []
results = []
with open('./diploma_data_input.csv', 'r') as csvfile:
    reader = csv.reader(csvfile)
    for line in reader:
        geodata.append((line[0], line[1]))

current_time = str(datetime.fromtimestamp(time()).strftime('%H_%M'))
csv_name = 'diploma_data_output_{}.csv'.format(current_time)

for origin, destination in geodata:
    print(origin, ':', destination)
    dt = int(time()) + 60
    google_response_raw = get(google_directions_api_base.format(origin=origin,

        destination=destination,

        departure_time=str(dt),

        key=API_KEY)).content
    google_response = json.loads(google_response_raw)
    # print(google_response)
    # if "ZERO_RESULTS" in
google_response['geocoded_waypoints'][0]['geocoder_status'].values():
    #     break
    rt = google_response['routes'][0]['legs'][0]['duration']['value']
    tt = google_response['routes'][0]['legs'][0]['duration_in_traffic']['value']
    rt = round(float(rt)/60, 2)
    tt = round(float(tt)/60, 2)
    print(rt, '-', tt)
    results.append({"rt": rt, "tt": tt})

results.sort(key=lambda x: x['tt'])
print(results)

with open(csv_name, 'w') as csv_file:
    fields = ['rt', 'tt']

    writer = DictWriter(csv_file, fieldnames=fields)
    writer.writeheader()

```

```

        for result in results:
            writer.writerow(result)

import csv
import math
import numpy as np
from copy import deepcopy
import matplotlib.pyplot as plt

with open('/Users/oatamanchuk/Downloads/data/diploma_data_output_09_11.csv', 'r') as
csvfile:
    reader = csv.reader(csvfile, delimiter = ';')
    rt_tt = []
    for i in reader:
        if 'rt,tt' not in i:
            if len(i) == 1:
                j = i[0].split(',')
            else:
                j = i
            rt_tt.append((float(j[0]), float(j[1])))

eps_list = [float(x[1] - x[0])/x[1] for x in rt_tt]
rt = [math.log(x[0]) for x in rt_tt]
tt = [math.log(x[1]) for x in rt_tt]
tt_s = deepcopy(tt)
tt_s.sort()
rt_corr = [math.log(x[0])*(math.exp(eps) - eps) for x, eps in zip(rt_tt, eps_list)] #
Corrected RT

plt.plot(tt_s, eps_list, 'r', color='blue', label='Epsilon function value', linewidth =
0.5)
plt.plot(tt, rt, 'o', color='red', label='Original data', markersize=2)
plt.plot(tt, rt_corr, 'o', color='green', label='Corrected data', markersize=2)
plt.legend()
plt.show()

A = np.vstack([tt, np.ones(len(tt))]).T
k, b = np.linalg.lstsq(A, rt, rcond=None)[0]
print("\nCoeffs: k={0}, b={1}".format(k, b))
print("HP indicator: {}".format(float(k)/(1-k)))
print("Average minimum time: {}".format(math.exp(b*((float(k)/(1-k))+1))))

k_corr, b_corr = np.linalg.lstsq(A, rt_corr, rcond=None)[0] # Coefficient after correction
print("\nCoeffs after correction: k={0}, b={1}".format(k_corr, b_corr))
print("HP indicator after correction: {}".format(float(k_corr)/(1-k_corr)))
print("Average minimum time: {}".format(math.exp(b*(float(k_corr)/(1-k_corr))+1)))

fig_size = [9, 6]
plt.rcParams["figure.figsize"] = fig_size
plt.plot(tt, rt, 'o', label='Original data', markersize=2)
plt.plot(tt, k*np.array(tt) + b, 'r', label='Fitted line', linewidth = 0.5)
plt.xlabel("TT")
plt.ylabel("RT")
plt.legend()
plt.show()

l = [list(x) for x in zip(rt, tt)]

plt.plot(tt, rt_corr, 'o', label='Restructed data', markersize=2)
plt.plot(tt, k_corr*np.array(tt) + b_corr, 'r', label='Fitted line', linewidth = 0.5)

```

```

plt.xlabel("TT")
plt.ylabel("RT")
plt.legend()
plt.show()

l = [list(x) for x in zip(rt_corr, tt)]

rt_tt_all = []
for date in ["09_11", "09_27", "09_48", "10_05", "10_18", "10_30", "10_48"]:
    with
open('/Users/oatamanchuk/Downloads/data/diploma_data_output_{date}.csv'.format(date=date),
'r') as csvfile:
    reader = csv.reader(csvfile, delimiter = ';')
    rt_tt = []
    for i in reader:
        if 'rt,tt' not in i:
            if len(i) == 1:
                j = i[0].split(',')
            else:
                j = i
            rt_tt.append((float(j[0]), float(j[1])))
    rt_tt_all.append(rt_tt)
# print(len(rt_tt_all))
# for rt_tt in rt_tt_all:
#     print("\n", rt_tt)

hp_coeffs = []
hp_coeffs_corr = []
for i in range(len(rt_tt_all)-2):
    rt_tt_aver = []
    for k in range(len(rt_tt_all[0])):
        rt_aver, tt_aver = 0, 0
        for j in range(i,i+3):
            rt_aver += rt_tt_all[j][k][0]
            tt_aver += rt_tt_all[j][k][1]
        rt_aver /= 3
        tt_aver /= 3
        rt_tt_aver.append((rt_aver, tt_aver))

    eps_list = [float(x[1] - x[0])/x[1] for x in rt_tt_aver]
    rt = [math.log(x[0]) for x in rt_tt_aver]
    tt = [math.log(x[1]) for x in rt_tt_aver]
    tt_s = deepcopy(tt)
    tt_s.sort()
    rt_corr = [math.log(x[0])*(math.exp(eps) - eps) for x, eps in zip(rt_tt_aver,
eps_list)]

    plt.plot(tt_s, eps_list, 'r', color='blue', label='Epsilon function value', linewidth
= 0.5)
    plt.plot(tt, rt, 'o', color='red', label='Original data', markersize=2)
    plt.plot(tt, rt_corr, 'o', color='green', label='Corrected data', markersize=2)
    plt.legend()
    plt.show()

A = np.vstack([tt, np.ones(len(tt))]).T
k, b = np.linalg.lstsq(A, rt, rcond=None)[0]
print("\nCoeffs: k={0}, b={1}".format(k, b))
print("HP indicator: {}".format(k/(1-k)))
hp_coeffs.append((float(k)/(1-k))*0.7)
print("Average minimum time: {}".format(math.exp(b*((k/(1-k)))+1)))

```

```

k_corr, b_corr = np.linalg.lstsq(A, rt_corr, rcond=None)[0] # Coefficient after
correction
print("\nCoeffs after correction: k={0}, b={1}".format(k_corr, b_corr))
print("HP indicator after correction: {}".format(k_corr/(1-k_corr)))
hp_coeffs_corr.append((float(k_corr)/(1-k_corr))*0.6)
print("Average minimum time: {}".format(math.exp(b*(k_corr/(1-k_corr))+1)))

plt.rcParams["figure.figsize"] = fig_size
plt.plot(tt, rt, 'o', label='Original data', markersize=2)
plt.plot(tt, k*np.array(tt) + b, 'r', label='Fitted line', linewidth = 0.5)
# plt.plot(tt, tt, 'r', color='grey', label='Ideal', linestyle='dashed')
plt.legend()
plt.show()

plt.plot(tt, rt_corr, 'o', label='Original data', markersize=2)
plt.plot(tt, k_corr*np.array(tt) + b_corr, 'r', label='Fitted line', linewidth = 0.5)
# plt.plot(tt, tt, 'r', color='grey', label='Ideal', linestyle='dashed')
plt.legend()
plt.show()

# x = list(range(len(hp_coeffs)))
x = ["9:00", "9:30", "10:00", "10:30", "11:00"]
plt.plot(x, hp_coeffs, 'o', label='HP indicator - original', markersize=4)
plt.plot(x, hp_coeffs_corr, 'o', label='HP indicator - restructed', markersize=4)
# plt.plot(tt, tt, 'r', color='grey', label='Ideal', linestyle='dashed')
plt.legend()
plt.show()

center_zone = [0.1, 0.12, 0.16, 0.15, 0.13, 0.12, 0.1, 0.08, 0.08, 0.1, 0.14, 0.22, 0.16,
0.1]
aver_zone = [0.1, 0.14, 0.14, 0.11, 0.08, 0.06, 0.04, 0.05, 0.07, 0.09, 0.12, 0.16, 0.21,
0.16]
os = [0.88, 0.78, 0.65]
sp = [0.07, 0.12, 0.18]
gr = [0.05, 0.1, 0.17]

def open_refine(name):
    with open(name, 'r') as csvfile:
        reader = csv.reader(csvfile, delimiter = ';')
        rt_tt = []
        for i in reader:
            if 'rt,tt' not in i:
                if len(i) == 1:
                    j = i[0].split(',')
                else:
                    j = i
                rt_tt.append((float(j[0]), float(j[1])))
    return rt_tt

rt_tt_os = open_refine('/Users/oatamanchuk/Downloads/data/diploma_data_output_os.csv')
eps_list = [float(x[1] - x[0])/x[1] for x in rt_tt_os]
rt_os = [math.log(x[0]) for x in rt_tt_os]
tt_os = [math.log(x[1]) for x in rt_tt_os]
tt_s_os = deepcopy(tt_os)
tt_s_os.sort()
rt_corr_os = np.array([math.log(x[0])*(math.exp(eps) - eps) for x, eps in zip(rt_tt_os,
eps_list)]) # Corrected RT
rt_corr_os *= os[0]
rt_corr_os *= center_zone[4]

```

```

rt_corr_os = list(rt_corr_os)

rt_tt_sp = open_refine('/Users/oatamanchuk/Downloads/data/diploma_data_output_sp.csv')
eps_list = [float(x[1] - x[0])/x[1] for x in rt_tt_sp]
rt_sp = [math.log(x[0]) for x in rt_tt_sp]
tt_sp = [math.log(x[1]) for x in rt_tt_sp]
tt_s_sp = deepcopy(tt_sp)
tt_s_sp.sort()
rt_corr_sp = np.array([math.log(x[0])*(math.exp(eps) - eps) for x, eps in zip(rt_tt_sp,
eps_list)]) # Corrected RT
rt_corr_sp *= os[0]
rt_corr_sp *= center_zone[4]
rt_corr_sp = list(rt_corr_sp)

rt_tt_gr = open_refine('/Users/oatamanchuk/Downloads/data/diploma_data_output_gr.csv')
eps_list = [float(x[1] - x[0])/x[1] for x in rt_tt_gr]
rt_gr = [math.log(x[0]) for x in rt_tt_gr]
tt_gr = [math.log(x[1]) for x in rt_tt_gr]
tt_s_gr = deepcopy(tt_gr)
tt_s_gr.sort()
rt_corr_gr = np.array([math.log(x[0])*(math.exp(eps) - eps) for x, eps in zip(rt_tt_gr,
eps_list)]) # Corrected RT
rt_corr_gr *= os[0]
rt_corr_gr *= center_zone[4]
rt_corr_gr = list(rt_corr_gr)

tt, rt, rt_corr = [], [], []
tt.extend(tt_s_os, tt_s_sp, tt_s_gr)
tt = np.array(tt)
rt.extend(rt_os, rt_sp, rt_gr)
rt = np.array(rt)
rt_corr.extend(rt_corr_os, rt_corr_sp, rt_corr_gr)
rt_corr = np.array(rt_corr)

plt.plot(tt, rt, 'o', color='red', label='Original data', markersize=2)
plt.plot(tt, rt_corr, 'o', color='green', label='Corrected data', markersize=2)
plt.legend()
plt.show()

```

ДОДАТОК Б ГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ КОМПЛЕКС «ІНСТИТУТ ПРИКЛАДНОГО СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ»

Методи і алгоритми аналізу та розподілу транспортних потоків у місті

Автор: студент групи КА-62м

Атаманчук Олексій

Науковий керівник: д.т.н., професор Бідюк П.І.

Актуальність роботи

- Застарілість дорожніх мереж міст країни
- Необхідність проведення реформ у системі транспортного менеджменту
- Вимоги сучасних тенденцій щодо розвитку мегаполісів
- Обмеженість в ресурсах для проведення модернізації
- Доступний та зручний метод оцінювання стану мереж

Постановка задачі

- провести аналіз предметної області;
- зібрати та обробити дані, необхідні для моделювання;
- оцінити транспортні потоки на макроскопічному рівні;
- проаналізувати результати макроскопічної моделі;
- розглянути проблеми мікроскопічних моделей та запропонувати варіанти їх вирішення;
- скорегувати дані та провести моделювання на них;
- порівняти отримані результати, зробити висновки;

Об'єкт, предмет та мета дослідження

- **Об'єктом** дослідження є фактичні виміри даних, та дані, отримані з відкритих ресурсів мережі Інтернет.
- **Предметом** дослідження та аналіз характеристик макроскопічних моделей транспортних потоків.
- **Мета** дослідження полягає у оцінці стану транспортного сполучення у місті, проектування вулично-дорожньої мережі та аналізі наявних проблем.

Модель Германа-Пригожина

Трафік розглядається як поєднання двох типів транспорту: того, що рухається - d_r , та того що стоїть - d_s , значення яких є нормованими: $d_r + d_s = 1$. Крім того в моделі має місце ергодична гіпотеза:

$$d_s = \frac{ST}{TT}$$

ST – час простою, RT – час руху, TT – загальний час поїздки і, очевидно, $TT = RT + ST$

Індикатор еластичності

«Дворідинна модель» Германа-Пригожина:

$$RT = T_{min}^{1/\eta+1} \cdot TT^{\eta/\eta+1}$$

де $T_{min} = 1/v_{max}$ – середній мінімальний час у дорозі.

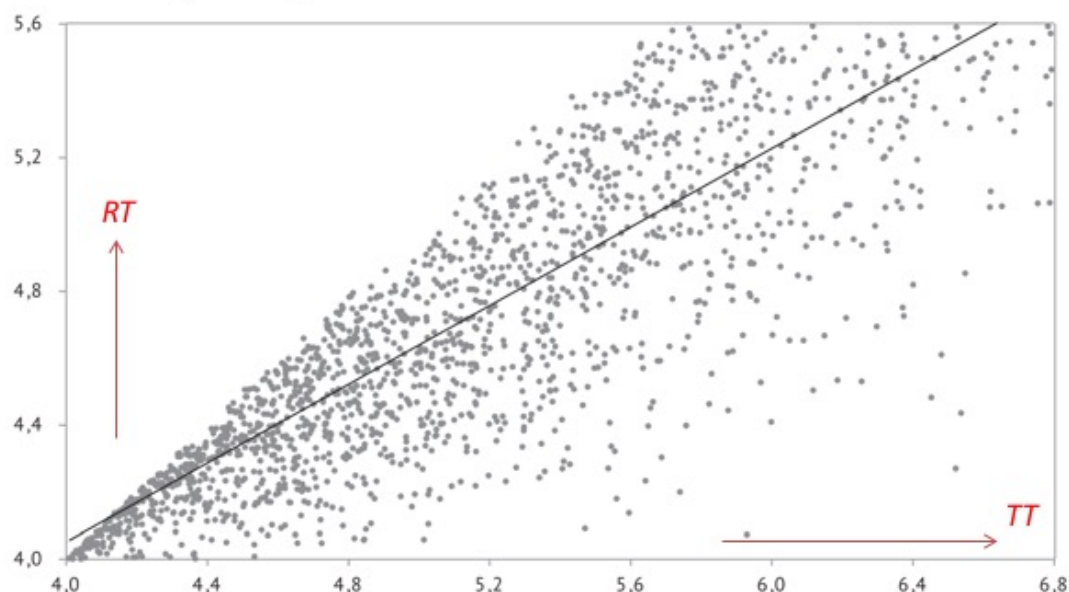
У процесі експериментів була приведена до виду:

$$\ln(RT) = k \cdot \ln(TT) + b$$

З лінійної регресії отримується параметр еластичності ВДМ:

$$\eta = \frac{1 - k}{k}$$

Система координат «*RT-TT*» була замінена аналогічною «*час без заторів – фактичний час*».



Початково зібрані дані не вписувались у концепцію обраної моделі і, тому, були відкореговані



Для цього за допомогою точних даних GPS треків було підбрано спосіб корегування:

$$RT = RT' \cdot (e^{\varepsilon} - \varepsilon)$$

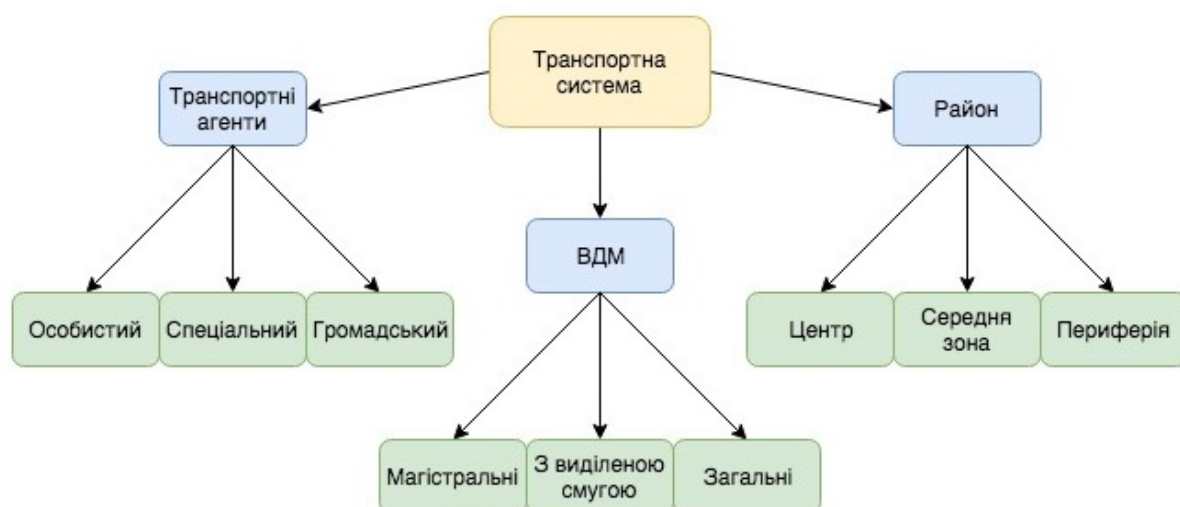
$$\text{де } \varepsilon = \frac{TT - RT'}{TT}$$

Для оцінки потоку впродовж тривалого часу в модель додано ще 2 регресори

$$\ln\left(\sum_{i=0}^2 \frac{RT(n-i)}{3}\right) = k \cdot \ln\left(\sum_{i=0}^2 \frac{TT(n-i)}{3}\right) + b, \quad n = \overrightarrow{3,7}$$

Часовий ряд сформовано з даних, зібраних щопівгодини в період з 15 по 18 години. Кількість регресорів зумовлена середньою максимальною тривалістю поїздки за схемою маршрутів

Складові транспортної системи



Мезоскопічна модель

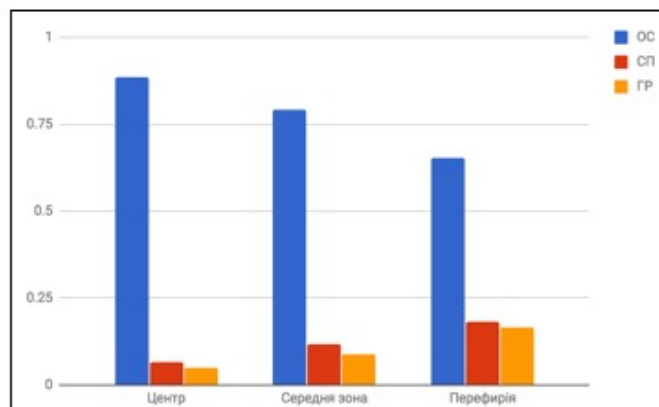
$$X^{(1)} = \omega_{OC} \cdot X_{OC} + \omega_{GP} \cdot X_{GP} + \omega_{СП} \cdot X_{СП}$$

$$\omega_i = f_i(p_i), \quad i \in \{СП, GP\}$$

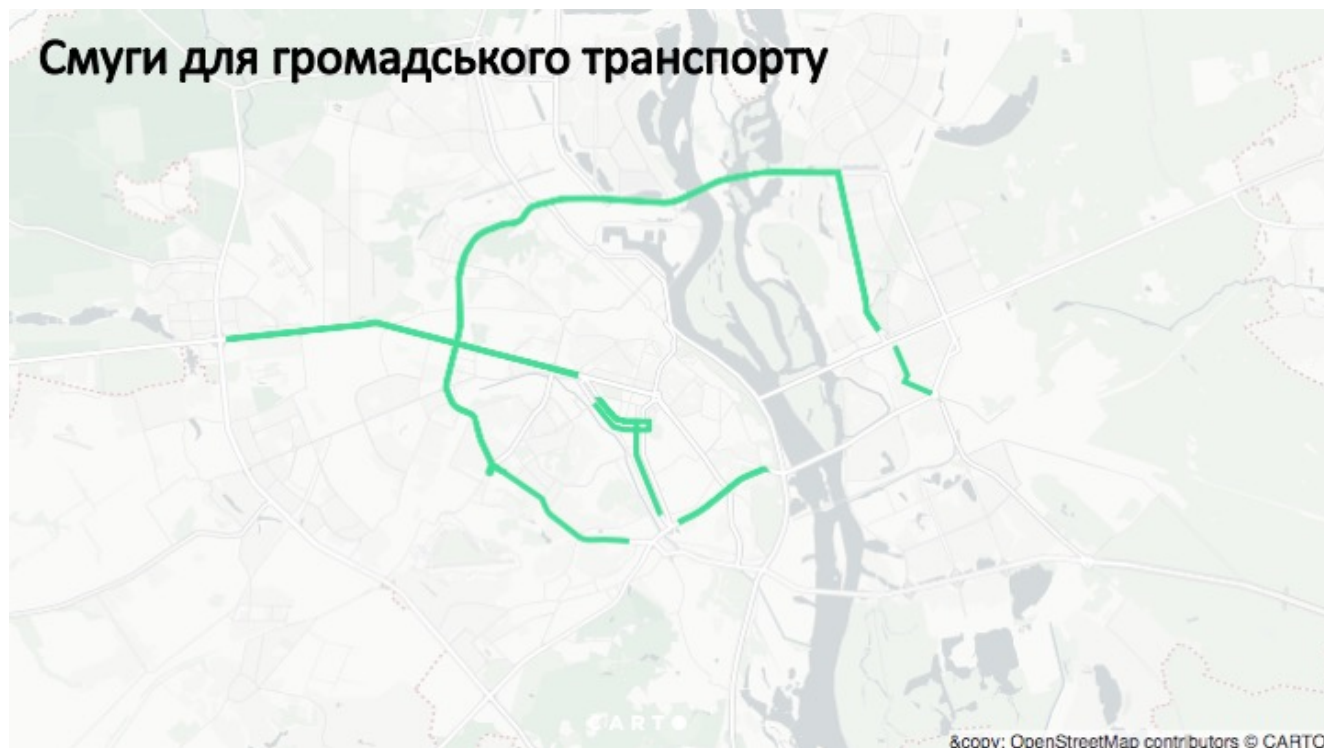
$$\sum_i \omega_i = 1, \quad i \in \{СП, GP, OC\}$$

$$f_{СП} = \frac{x}{1-x}$$

$$f_{GP} = e^{2x} - 1$$



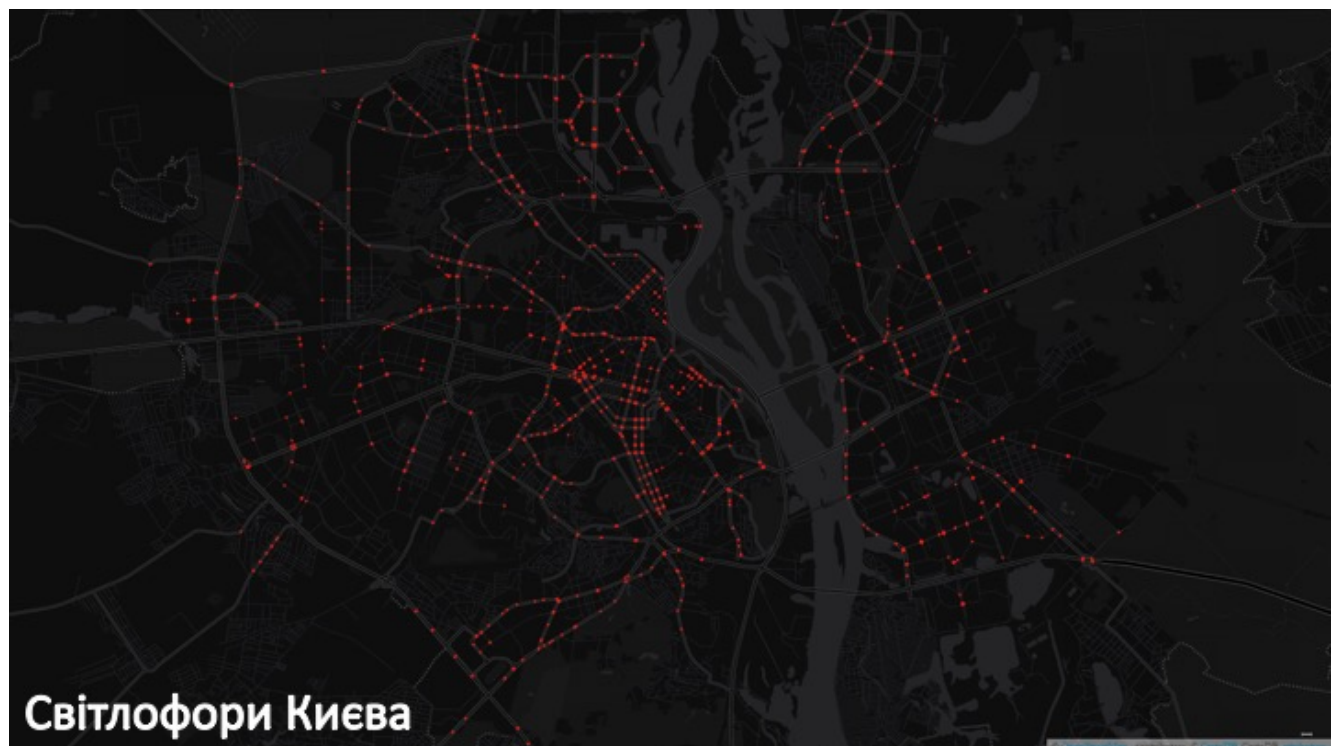
Смуги для громадського транспорту

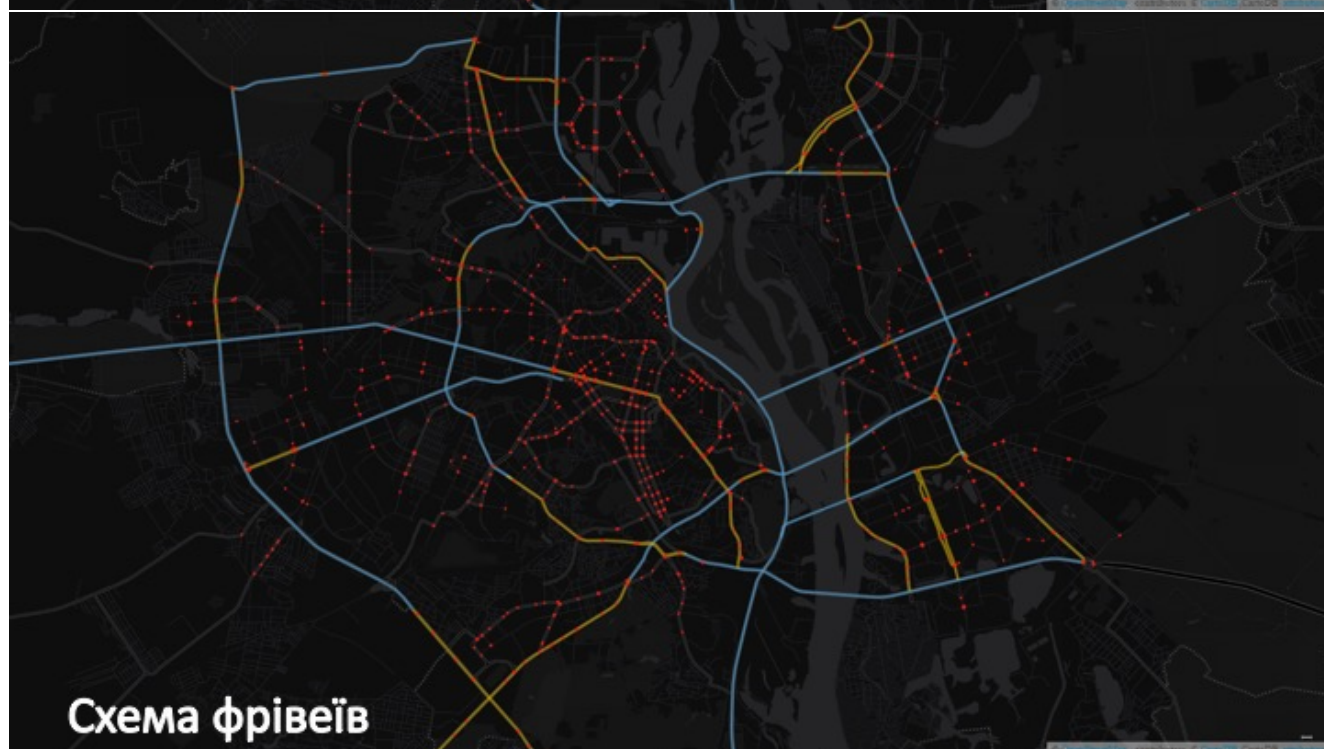


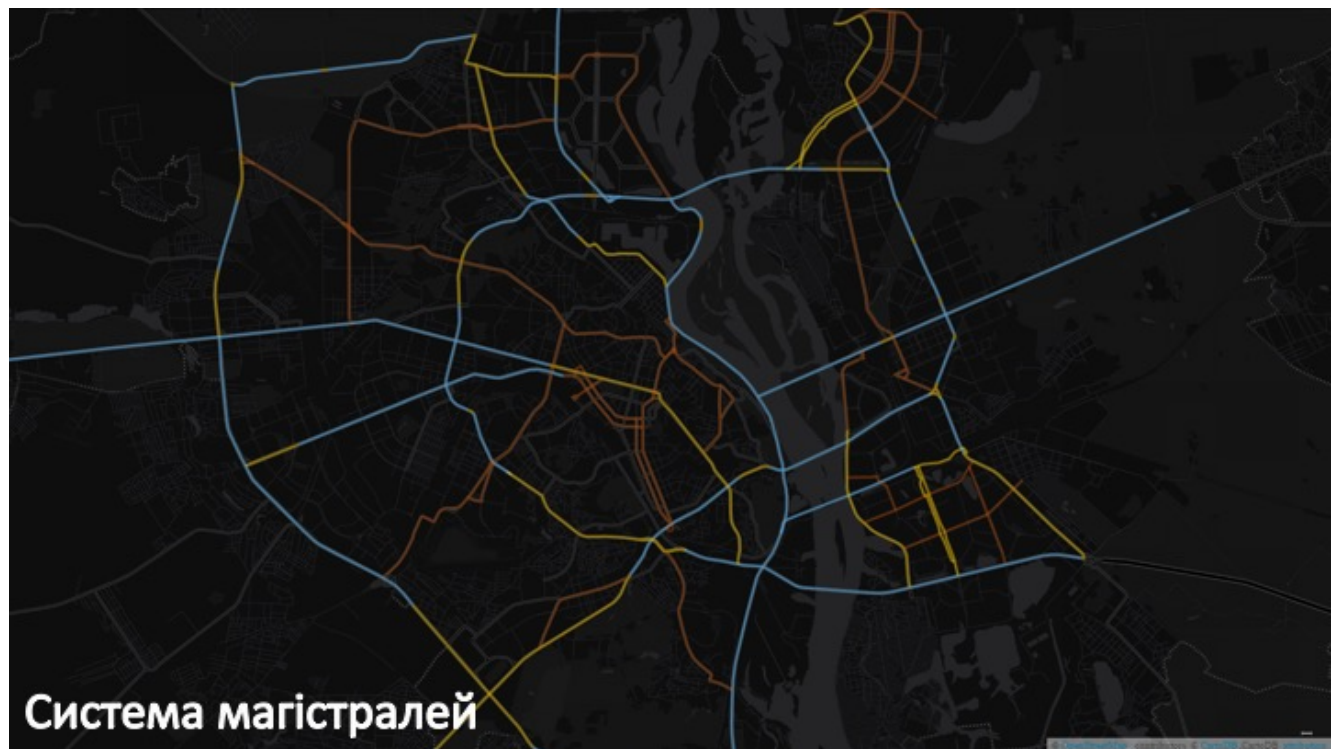
Мезоскопічна модель

$$X^{(2)} = (1 + I_C \cdot \omega_{OC}) \cdot (1 - I_M \cdot \omega_{OC}) \cdot \omega_{OC} \cdot X_{OC} + \\ (1 - I_C) \cdot (1 - I_M \cdot \omega_{GR}) \cdot \omega_{GR} \cdot X_{GR} + \\ (1 + I_C \cdot \omega_{СП}) \cdot (1 - I_M \cdot \omega_{СП}) \cdot \omega_{СП} \cdot X_{СП}$$

де I_C - індикатор виділеної смуги для громадського транспорту, а I_M - індикатор дороги магістрального типу (фрівей з щонайменше трьома смугами для руху).

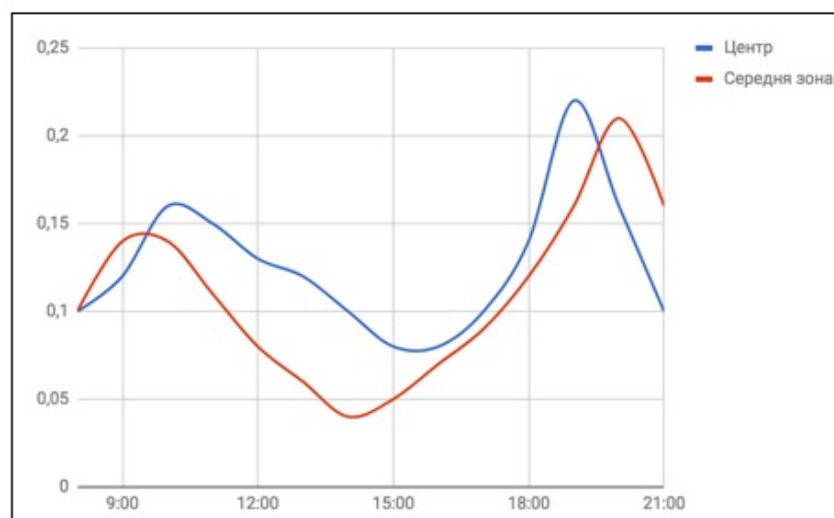




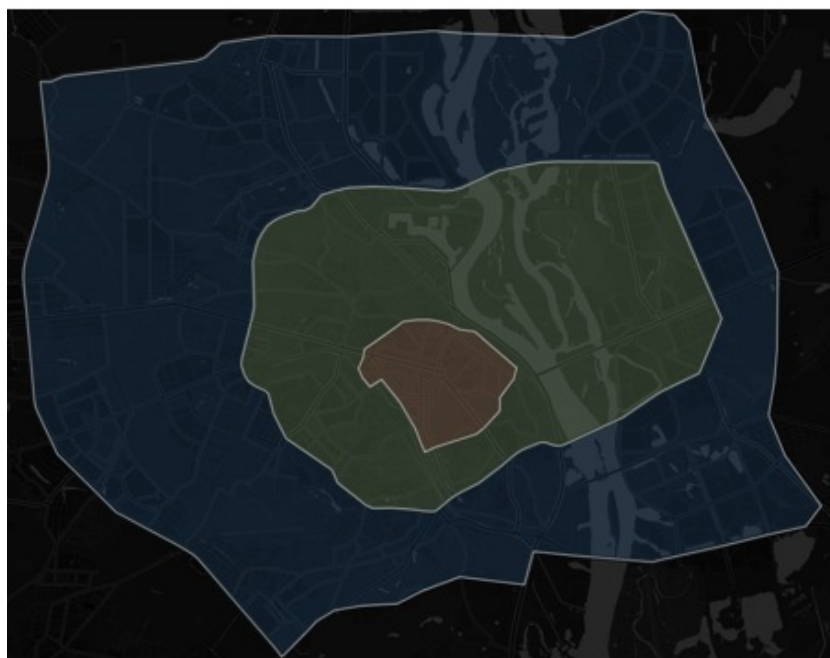


Мезоскопічна модель

$$X^{(3)} = X^{(2)1-\psi}$$

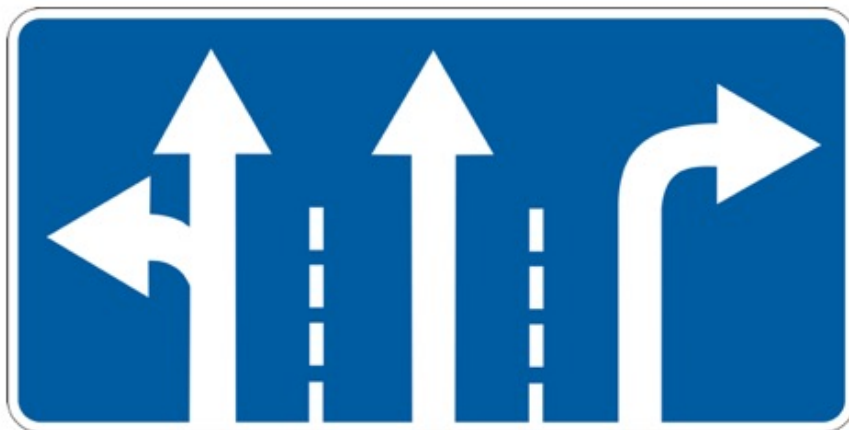


Зонування Києва

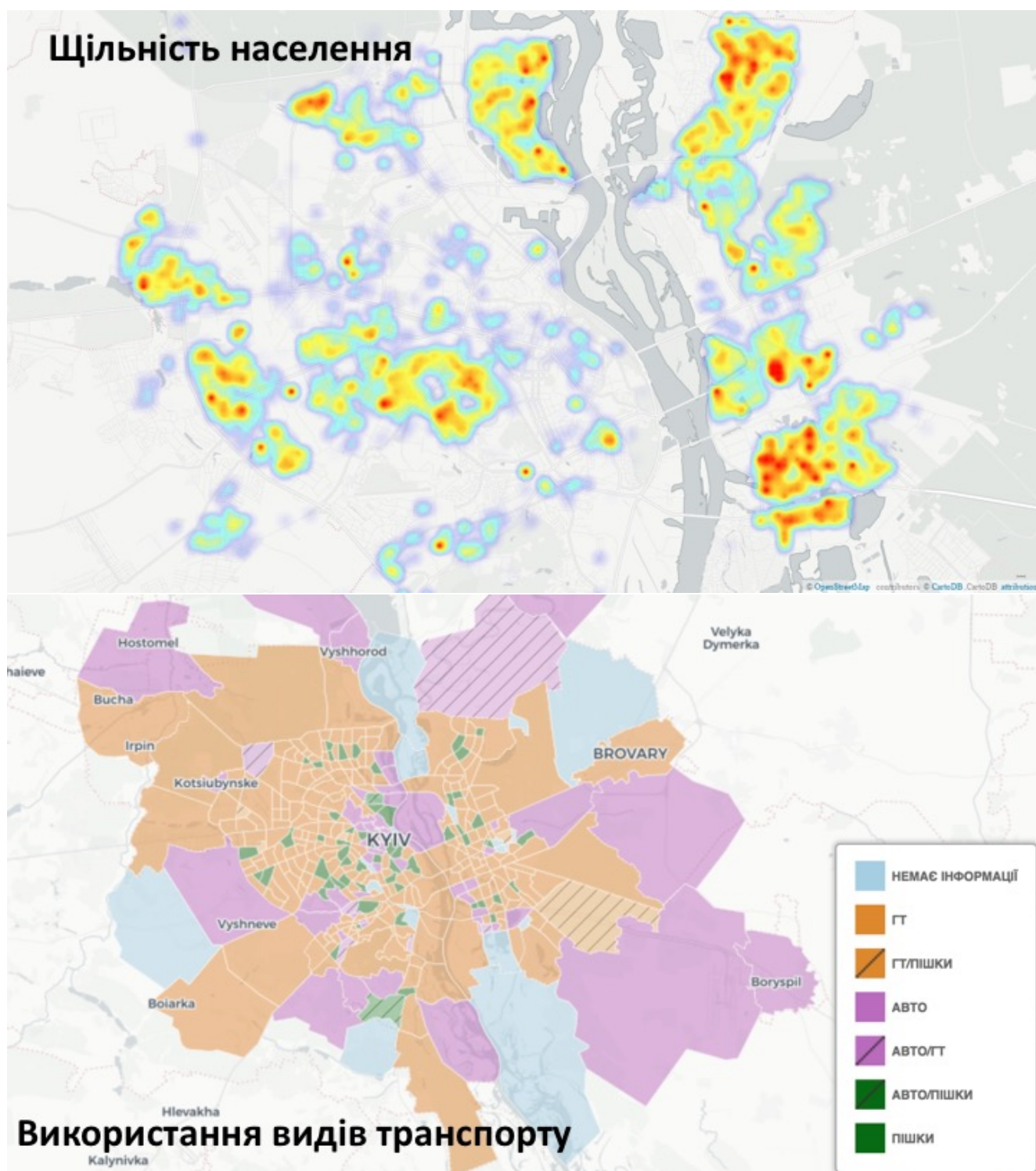


- червоний полігон
- центральне ядро
- зелений полігон -
середня зона
- синій полігон –
периферія

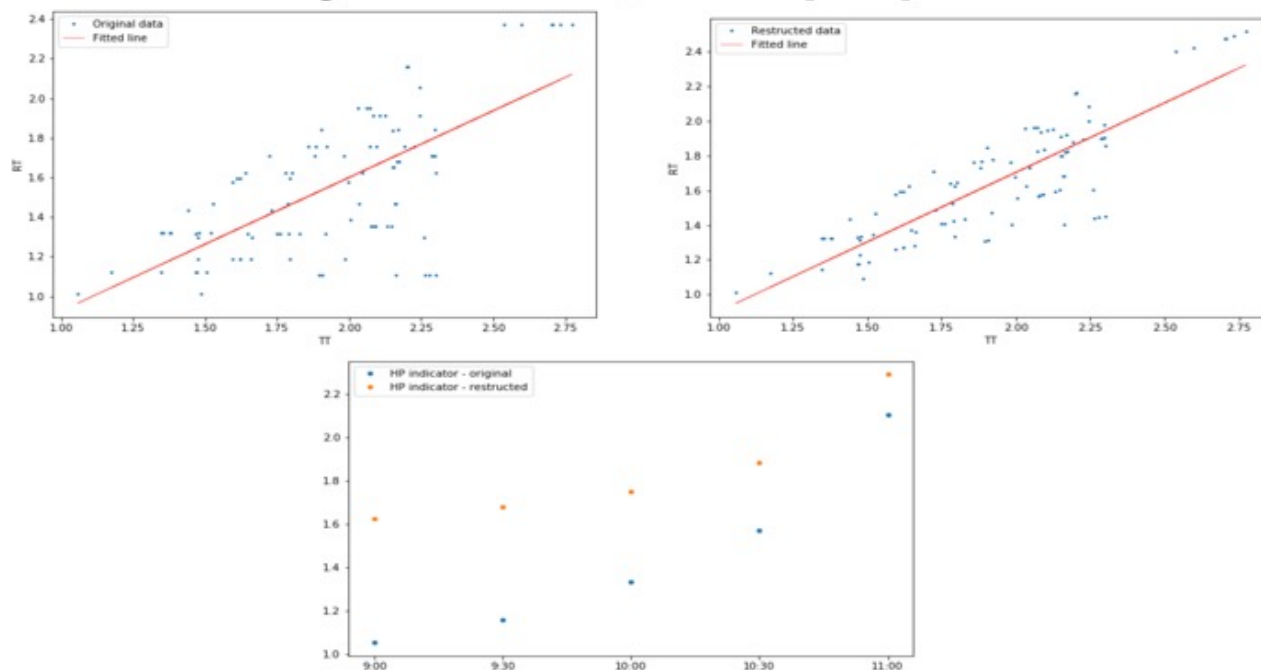
Питання побудови маршрутів для проведення моделювання вирішено за допомогою мапи щільності населення міста.



Очевидно, що обирати ділянки для замірів даних навантаження – недоцільно. Було необхідно знайти найбільш використовувані населенням шляхи.



Результати оцінки програмою



Порівняння результатів

Місто	Район	Час	Рік	Індикатор
Орlando	Магістралі	Протягом дня	2008	0,63
Сеул	Центр	Ранок	2005	0,718
Орlando	Магістралі і фрівеї	Ранок	2008	0,79
Сеул	Центр	Вечір	2005	1,058
Москва	Центр	Протягом дня	2008	1,253
Далас	Центр	Протягом дня	2003	1,35
Москва	ВДМ	Протягом дня	2008	1,428
Москва	МКАД	Протягом дня	2008	3,619

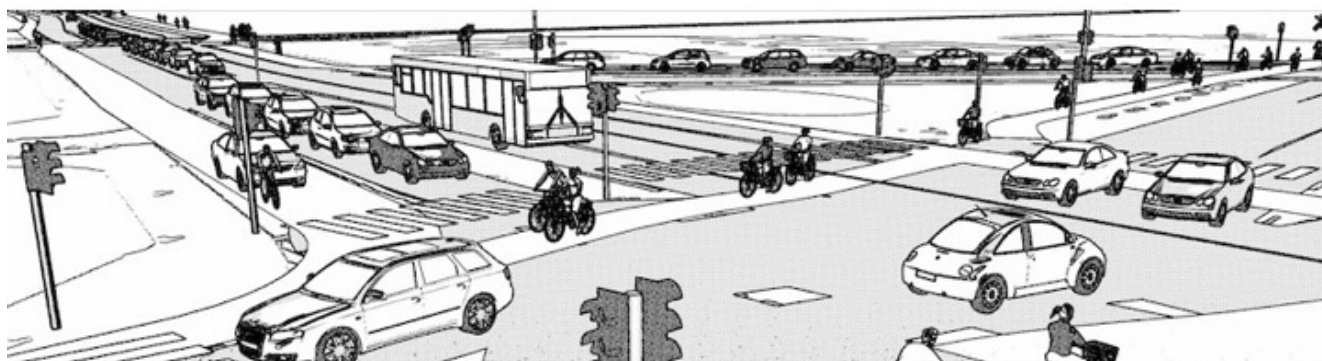
Порівняння результатів

Місто	Район	Час	Рік	Індикатор
Брюссель	Центр	Протягом дня	1982	2,76
Лондон	Центр	Протягом дня	1982	3,02
Х'юстон	Магістралі і фрівеї	Протягом дня	1982	0,8
Київ	ВДМ	Ранок	2016	2,15
Київ	Центр	Ранок	2016	2,61
Київ	Магістралі і фрівеї	Ранок	2016	1,4
Київ	Центр	Вечір	2016	1,67
Київ	Магістралі і фрівеї	Вечір	2016	1,89



Висновки та перспективи розвитку

- Поглиблення та розширення фізичного сенсу моделі
- Систематичні та більш об'ємні виміри даних
- Дослідження системи громадського транспорту міста
- Залучення даних щодо стану інфраструктури доріг (дорожнього полотна)
- Використання руху велосипедистів як складової системи



Дякую за увагу